

Saimaan ammattikorkeakoulu  
Tekniikka Lappeenranta  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Rakennesuunnittelu

Miko Tollander

## **Teräsbetonisen konsolin mitoitus ja mallinnus**

Opinnäytetyö 2017

## Tiivistelmä

Miko Tollander

Teräsbetonisen konsolin mitoitus ja mallinnus, 48 sivua, 3 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka, Lappeenranta

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Rakennesuunnittelu

Opinnäytetyö 2017

Ohjaajat: lehtori DI Petri Himmi, Saimaan ammattikorkeakoulu, osastopäällikkö

DI Tommi Turunen, Pöry Finland Oy, BIM Technology Manager DI Teemu

Ahonen, Pöry Finland Oy

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda tilaajayritykselle ohjeet pilarikonsoleiden mallintamiseen Tekla Structures -ohjelmalla valmiita mallinnuskomponentteja käyttäen. Näin voitaisiin tehostaa pilari-palkki-rungossa usein esiintyvien liitosten suunnittelua. Tämän lisäksi työhön sisällytettiin ohjeet pilarikonsoleiden sekä näiden kuormituslevyjen mitoittamiselle eurokoodin standardien mukaisesti. Työn tilaajana toimi Pöry Finland Oy.

Työn teoriaa kerättiin Suomessa käytössä olevista rakentamisen standardeista sekä näitä selostavista kirjallisuusteoksista. Eurokoodi-standardit selittävät hyvin vähän auki kaavojen alkuperää, joten työssä jouduttiin turvautumaan kirjoihin, jotka on kirjoitettu helpottamaan suunnittelijoita ymmärtämään standardeissa määriteltyjä laskentakaavoja. Kumilevylaakereille ei ole olemassa yhtenäisiä suunnitteluohjeita, joten työssä päädyttiin esittelemään kirjallisuustutkimukseen ja empiirisiin kokeisiin perustuva ehdotus mitoittamista varten. Mallintamista tarkasteltiin luomalla testimalli Tekla Structures -ohjelmistoon ja testaamalla valitut komponentit läpi asetuksia varioiden.

Työn lopputuloksena luotiin kaksi mitoitusohjelmaa Microsoft Excel -ohjelmistolla, yksi konsoleiden mitoittamista varten ristikkomenetelmällä ja toinen vahvistamattomien kumilevylaakerien mitoittamista varten. Työssä tuotettiin myös tilaajayritykselle tuleva ohje konsolien mallintamista varten. Työssä harkittiin taulukkopohjaiseen mitoittamiseen perustuvaa ohjetta konsoleille, mutta se todettiin liian rajoittuneeksi ratkaisuksi betonista valmistetuille konsoleille. Aikataulullisten haasteiden vuoksi työstä jouduttiin jättämään pois piirustustuotannon tehostaminen luomalla mallipiirustus pohjia konsoleihin liittyvien rakenneosien osalta.

Asiasanat: konsoli, Tekla Structures, ristikkomenetelmä, kumilevylaakeri

## **Abstract**

Miko Tollander

Calculation and modelling of reinforced concrete consoles, 48 Pages, 3

Appendices

Saimaa University of Applied Sciences

Technology, Lappeenranta

Civil and Construction Engineering

Structural Engineering

Bachelor's Thesis 2017

Instructors: Mr Petri Himmi, Senior Lecturer, Saimaa University of Applied Sciences, Mr Tommi Turunen, Department Manager. Pöyry Finland Oy, Mr Teemu Ahonen, BIM Technology Manager, Pöyry Finland Oy

The purpose of this thesis work was to create instructions on modelling reinforced concrete consoles in Tekla Structures to streamline the design of connections often seen in column-beam type of frames. Additionally, instructions on how to calculate the capacity of chosen consoles and elastomeric bearings were included in this thesis. Pöyry Finland Ltd. served as the client for this thesis.

Theory on calculation was gathered from Eurocode standards effective in Finland and literary works that explain the method behind the formulas found in Eurocodes. Uniform instructions for the calculation of non-reinforced elastomeric bearings do not exist in Finland so a method based on literary research and empirical tests was chosen as the basis of calculation in this thesis. Modelling of consoles was examined by creating a test model in Tekla Structures and testing out different readily available components and varying their settings.

As a result of this thesis two calculation programs were created, one for the calculation of reinforced concrete consoles by making use of the strut-and-tie method and the other for the calculation of non-reinforced elastomeric bearings. Instructions for modelling were also created in the shape of an internal memo for Pöyry. Creating an express calculation table for consoles was also considered but the idea was discarded because of limited usability. Due to time constraints, examining model drawing creation for concrete structures including consoles was abandoned.

Keywords: console, Tekla Structures, strut-and-tie method, elastomeric bearing

## Sisältö

Käsitteet.....	5
1 Johdanto.....	6
1.1 Työn tavoitteet .....	6
1.2 Työn rajaukset .....	7
2 Liitosalueen teoriaa.....	8
3 Kumilevylaakerin mitoitus .....	10
4 Konsolin mitoittaminen.....	16
4.1 Ristikkomallit.....	16
4.2 Puristus- ja vetosauvojen tarkastelu .....	18
4.3 Solmujen tarkastelu .....	21
4.4 Pilarikonsolin mitoituksen kulku .....	24
5 Tekla Structures ja konsolin mallintaminen.....	32
6 Mitoitusten tulokset.....	36
6.1 Kumilevylaakerien tulokset .....	36
6.2 Konsolien mitoituksen tulokset.....	39
7 Pohdinta.....	44
Lähteet.....	47

## Liitteet

- Liite 1 Kumilevylaakerin mitoitus
- Liite 2 Pilarikonsolin mitoitus
- Liite 3 Teräsbetonisten konsolien mallinnusohje

## Käsitteet

Tekla Structures	Rakennesuunnitteluun tarkoitettu 3D-mallinnusohjelma, jolla voidaan tuottaa kaikki rakennesuunnitelman tietomallipohjaisesti.
Tietomalli	3D-pohjainen digitaalinen kokonaisuus esimerkiksi rakennuskohteesta, joka sisältää rakenneobjektien lisäksi näihin sisällytettyä tuotetietoa.
konsoli	Lyhyt uloke pysty- tai vaakarakenteessa, jolla tuetaan toinen rakenne ja siirretään tämän toisen rakenteen kuormitukset ensisijaiselle rakenteelle.
Excel	Microsoftin kehittämä taulukkolaskentaohjelma.
neopreeni	Synteettinen kumimateriaali tai luonnonkumi, jota käytetään elementtirakenteissa siirtämään kuormituksia rakenteelta toiselle samalla mahdollistaen elementtien sallitut liikkeet.
Ristikkomalli	Betonirakenteen sisäinen malli, jossa kuvitellaan betonissa olevan sisäisiä sauva- sekä solmurakenteita, jotka muodostavat kolmion muotoisia ristikoita kestävyystarkastelun helpottamista varten.
$P_{Ek}$	Rakenteen kannatteleman omien kuormien sekä muuttuvien kuormien ominaisarvo
$P_{gk}$	Rakenteen kannatteleman omien kuormien ominaisarvo
$H_{Ek}$	Rakenteen suunnittelussa huomioitavan vaakakuorman ominaisarvo
$H_{Ed}$	Rakenteen suunnittelussa huomioitavan vaakakuorman mitoitusarvo
$\sigma_c$	Rakenteeseen syntyvä puristusjännitys
$P_k$	Neopreenin suurin sallittu kuormitusarvo
$T_c, T_r$	Rakenteeseen syntyviä leikkausjännityksiä
$\sigma_{Rd,max}$	Suurin rakenteessa sallittu jännityksen mitoitusarvo
$F_{Ed}$	Kuorman mitoitusarvo murtorajatilassa
$A_s$	Betonin raudoituksen poikkileikkausala
$f_{sd}$	Betoniteräksen myötölujuuden mitoitusarvo

# 1 Johdanto

Opinnäytetyön tilaajana toimii Pöry Finland Oy. Pöry Finland Oy on osa Pöry Oyj-konsernia, jonka palveluksessa toimii yli 5500 henkilöä yli 40 eri maassa. (1)

Pöry Finland Oy toteuttaa rakennesuunnitteluhankkeensa pääasiassa tietomalleja hyväksikäyttäen 3D-ympäristössä. Pöryyn rakennesuunnittelussa käytetyin tietomallintamisen ohjelma on Tekla Structures, jonka avulla saadaan tuotettua kokonaisvaltaisia suunnitelmia, tietomalleja, jotka palvelevat myös asiakkaita ja loppukäyttäjiä vuosienkin jälkeen.

Tekla Structures on käytössä laajalti Pöryyn toimistoissa, ja sen käyttö yleistyy edelleen. Tekla-ympäristössä toteutetaan Pöryllä jatkuvaa kehitystyötä toimintatapojen tehostamiseksi ja työskentelyn helpottamiseksi. Pöryyn palveluksessa toimii tälle kehitystyölle omistautuneita asiantuntijoita, joiden avulla tietomallintamisen uudet ominaisuudet saadaan toteutettua ja jaettua eri toimistojen käyttöön.

## 1.1 Työn tavoitteet

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia teräsbetonisten pilareiden lyhyitä ulokkeita eli konsoleita. Konsoleiden mitoitus tutkitaan perustuen vuonna 2013 Suomessa voimaan astuneiden Eurokoodi-suunnittelustandardien mukaisesti.

Konsoleiden mitoitus käydään läpi betonirakenteiden ristikkomenetelmää hyväksikäyttäen. Tavoitteena on tuottaa tilaajalle helppokäyttöinen, Microsoft Exceliin perustuva laskentapohja, jonka avulla suunnittelija pystyy määrittelemään tarvittavat parametrit konsolia varten sekä saamaan tulosteet laskennasta.

Koska konsolit toimivat yleensä liitososina kantavissa runkojärjestelmissä, ja riippuen laskentamallista liitosalue toimii joko momenttijäykkänä liitoksena tai nivelenä, joka sallii liikkeitä liitosalueella. Tässä opinnäytetyössä huomioon myös kuormituslevyn mitoitus. Tavallisimmin kuormituslevynä toimii konsolin päälle sijoitettu kumilevylaakeri (neopreeni) nivelellisissä liitoksissa. Tämän kumilevylaakerin mitoitus varten toteutetaan myös laskentapohja Excelillä.

Teräsbetonikonsoleiden mallintamista kehitetään Tekla Structures -ohjelmiston valmiilla komponenteilla. Koska betonirakenteiden liitosalueet ovat aina tapauskohtaisia ja mallinnuskomponentit sisältävät lukuisia säädettäviä parametreja suunnittelua varten, luodaan konsoleiden mallintamista varten mallinnusohje Pöyryn sisäiseen käyttöön.

## **1.2 Työn rajaukset**

Laskentapohjat sisältävät soluja, joihin suunnittelija voi syöttää tarvittavat parametrit suunniteltavan liitoksen mitoitukseen. Alustojen toiminta pidetään mahdollisimman yksinkertaisena yhteensopivuuden takaamiseksi mahdollisimman monella työkoneella, tämän vuoksi esimerkiksi nauhoitettuja Excel-makroja ei käytetä laskentapohjissa.

Betonikonsolin laskentapohja ei myöskään sovellu tapaukseen, jossa mitoitetaan liitosta, joka koostuu konsolista sekä lovetusta palkin päästä, koska laskenta on rajattu pelkästään liitoksen konsoliosaan.

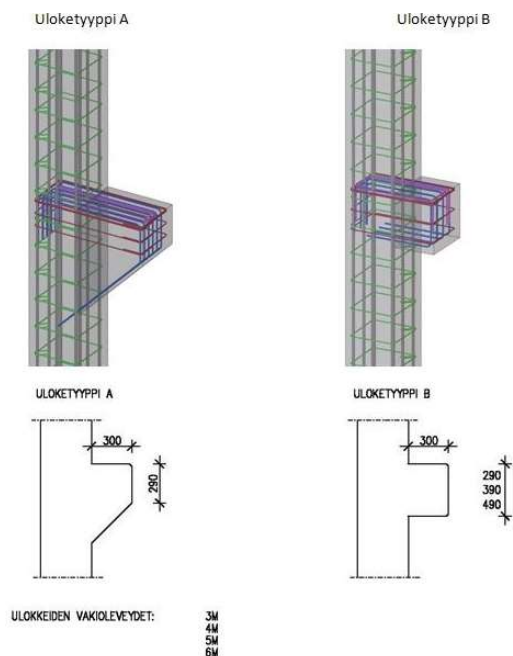
Liitosalueiden mallinnusohje tuotetaan Tekla Structures -ohjelman versiolla 21.0, käyttäen hyväksi toimeksiantajalla saatavilla olevia komponentteja. Komponentit ovat valmiiksi olemassa olevia, Tekla Structures -ohjelmistoon sisällytettyjä työkaluja.

Työssä ei käsitellä EN 1990 Eurokoodi 0: Suunnittelun perusteet eikä EN 1991 Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormitukset mukaisia teorioita muuta kuin siltä osilta, jotka koskettavat konsolin mitoituksen perusteita.

Konsolin laskentapohja ei erottele liitoksen tyyppiä, eli onko se nivelliitos vai jäykkä liitos. Työssä ei myöskään oteta kantaa liitoksen toimivuuteen kokonaisuutena, joten esimerkiksi vaarnatappien ja tukipintojen mitoittamista liitoksessa vaikuttaville voimille ei esitellä erikseen tässä opinnäytetyössä.

## 2 Liitosalueen teoriaa

Konsoleita käytetään pilareissa kannattelemaan vaakarakenteita, kuten palkkeja ja laattoja silloin, kun pilarit ovat jatkuvia, pilarin päälle tukeutuu useampia rakenteita tai kun tukipinnat pilarin päällä eivät ole riittäviä. Konsolit voivat olla betonisia tai teräksestä valmistettuja piilokonsoleita. Konsolityypin valintaan vaikuttavat useimmiten rakennuksen tilaajan määrittämät rajaehdot suunnittelulle. Konsoleita voidaan myös suunnitella muihin rakenteisiin pilarien lisäksi, esimerkiksi primääripalkin kylkiliitokseen kannattelemaan sekundääripalkkia. Betonisia konsoleita suunniteltaessa käytetään useimmiten kahdenlaista eri tyyppiä, jotka esitetään kuvassa 1.



Kuva 1. Tyypillisimmät betoniulokkeet suositusmittoineen (2)

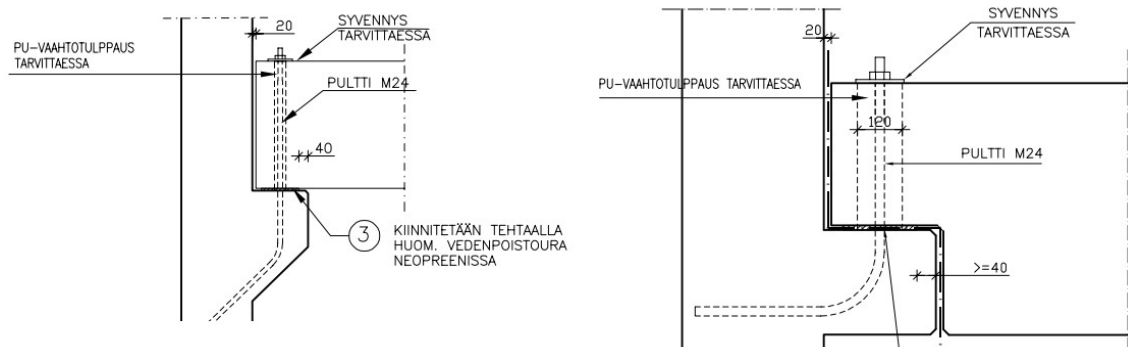
Alapäästään viistettyä konsolia käytetään liitoksissa, jossa konsoli jää näkyviin, ja se on taloudellisin vaihtoehto konsolille (2). Suoraa uloketta voidaan käyttää, jos halutaan piilottaa liitos esimerkiksi loveamalla palkin alapäätä.

Konsolille tulevat liitokset voivat olla rakennemallin mukaan nivelliitoksia tai momenttijäykkiä liitoksia. Kuvissa 2 ja 3 on esitetty nivelellinen pilari/palkki-liitos ja momenttijäykkä liitos tässä järjestyksessä. Nivelliitoksessa konsolin päälle asennetaan tyypillisesti kumilevylaakeri (neopreeni) siirtämään palkin

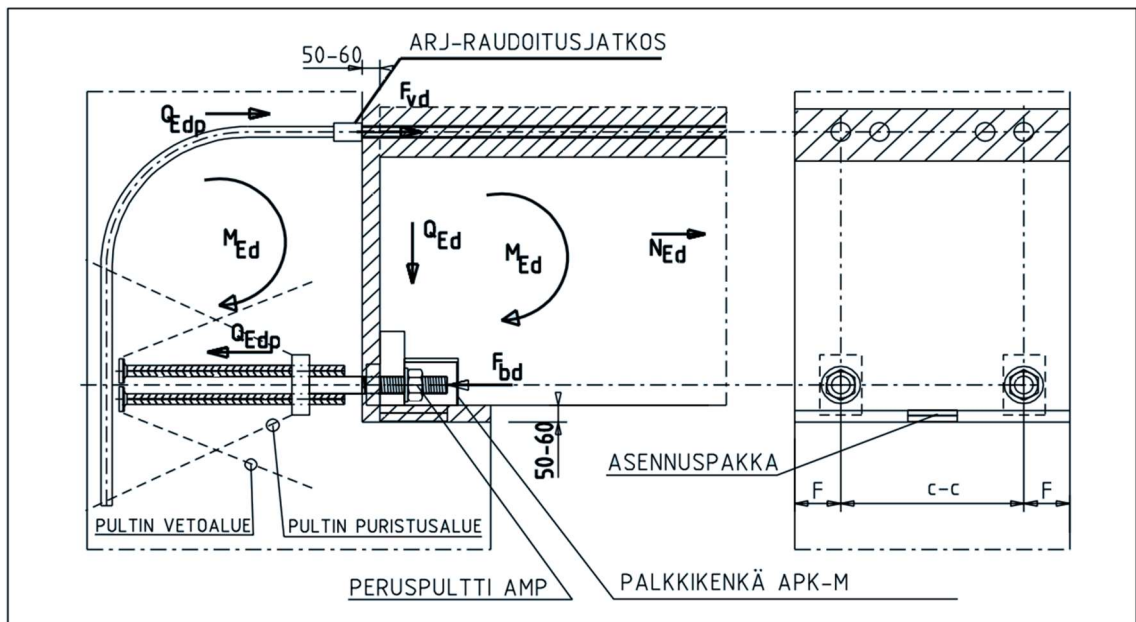


kuormitukset konsolille sekä takaamaan nivelen toiminta. Konsoliin sijoitetaan myös vaarnateräs hallitsemaan liitoksen vaakavoimia ja takaamaan, että elementti ei putoa tuelta.

Momenttijäykässä liitoksessa puolestaan pilariin lisätään esimerkiksi pultit palkkiliitosta varten sekä rauditusjatkokset yläpään momentin hallintaan. Konsolin ja palkin väliin jää tässä tapauksessa yleensä n. 50 - 60 millimetrin kolo juotosvalulle.



Kuva 2. Vinon konsolin sekä suoran piilokonsolin nivelliitos (3)



Kuva 3. Momenttijäykkä liitos konsolin päällä (4)

### 3 Kumilevylaakerin mitoitus

Vahvistamattomia kumilevylaakereita käytetään yleisesti betonielementtien välisissä liitoksissa takaamaan nivelen toiminta. Kumilevyn tarkoituksena on tasata tukireaktioita tietylle jakaantumispinta-alalle sekä sallia tuen kiertyminen nivelenä. Niveltoiminta takaa, että rakenteet eivät murru rasiustilanteessa eikä haitallisia muodonmuutoksia synny. (5, s.1)

Kumilevylaakereiden mitoitukseen ei ole olemassa mitään yhtenäisiä ohjeita eikä standardeja, joita voitaisiin yhtenäisesti noudattaa alueilla, joilla on myös esimerkiksi Eurokoodi-standardit voimassa. Tämän vuoksi tässä opinnäytetyössä esitellään tekniikan tohtori Matti V. Leskelän raporttiin (2009) perustuma mitoitusmenetelmä kumilevylaakerien mitoittamiseen. Leskelän menetelmä perustuu kirjallisuustutkimukseen useasta eri olemassa olevasta kumilevylaakerin mitoitusohjeesta sekä empiirisiin kokeisiin.

Kumilevylaakerien mitoitus lähtee kuormien määrittelystä. Mitoitusta varten tarvittavat kuormat ovat rakenteiden pystykuormat: kokonaispystykuorma  $P_{Ek}$  ja pysyvien rakenteiden pystykuormat  $P_{gk}$  sekä rakenteita rasittavat vaakakuormat  $H_{Ek}$ .

Kumilevyn liukukerroin  $G$  on kumilevyn kovuuden  $h$  (ShoreA) funktio, joka määritetään kaavan 1 mukaan (5).

$$G(h) = 0,07 \times 1,045^h \quad (1)$$

Suomessa yksikerroksisten kumilevyjen ShoreA-kovuuden vaihteluväli mitoituksessa on ollut perinteisesti välillä 50... 70 ShoreA. Koska kumilevyjen materiaaliominaisuudet vaihtelevat huomattavasti kumin ollessa epähomogeenista materiaalia, on vaikea määrittää juuri yksittäistä oikeaa vaihtoehtoa talonrakentamisessa käytettyjen elementtien laakereiksi.

Kumilevyjen mitoittamisessa kannattaisi huomioida lujuusarvon sijaan pikemminkin liukumoduuli  $G$ . Liukumoduuliin vaikuttaa suuresti esimerkiksi lämpötila. Kylmissä lämpötiloissa kumi alkaa kiteytyä, jolloin se jäykistyy voimakkaasti, ja liukumoduuli saattaa kasvaa jopa kolminkertaiseksi. (6, s. 7)

Standardin SFS-EN 1337-3 Kumilevyalaakerit mukainen ehdotelma kumilevyjen liukumoduulille eroaa Matti Leskelän ehdotetusta laskukaavasta. Standardissa mainitaan kuitenkin, että liukumoduulin ja kovuuden välinen korrelaatio ei ole tarkka ja kovuusarvot ovat vain ohjeellisia. Kumilevyjen standardoitua testausta kovuusarvojen osalta on lähes mahdotonta laatia, koska kumilevyjen käyttäytyminen eri lämpötiloissa monimutkaistaa testausta. (7)

Esimerkkejä kovuuden vaihtelusta Leskelän ohjeistuksen mukaisesti:

$$\text{ShoreA } 50: 0,07 \times 1,045^{50} = 0,632 \text{ MPa} \quad (2)$$

$$\text{ShoreA } 60: 0,07 \times 1,045^{60} = 0,982 \text{ MPa} \quad (3)$$

$$\text{ShoreA } 70: 0,07 \times 1,045^{70} = 1,525 \text{ MPa} \quad (4)$$

SFS-EN 1337-3 puolestaan antaa ohjearvoksi seuraavaa:

$$G_g = 0,7 \text{ MPa} \rightarrow 50 \pm 5 \text{ IRHD} \quad (5)$$

$$G_g = 0,9 \text{ MPa} \rightarrow 60 \pm 5 \text{ IRHD} \quad (6)$$

$$G_g = 1,15 \text{ MPa} \rightarrow 70 \pm 5 \text{ IRHD} \quad (7)$$

IRHD-lujuudet (International Rubber Hardness Degrees) vastaavat käytännössä ShoreA-kovuuksia, vaikka testausmenetelmät eroavat toisistaan. Taulukossa 1 näytetään Leskelän keräämät keskimääräiset kumilevyjen materiaaliominaisuudet.

Kumin kovuus $h$ (Shore A)	50	60	70
Liukukerroin $G$ 20 asteessa, MPa	0,6 .. 0,77	0,85 .. 1,1	1,2 .. 1,8
Pitkäaikainen painumalisä (25 vuotta), % hetkellisestä painumasta	25 %	35 %	45 %
kerroin $k_r(h)$ eri funktioissa	0,75	0,60	0,55

Taulukko 1. Keskimääräiset kumin materiaaliominaisuudet

Kumilevyjen materiaaliominaisuuksien huimista vaihteluista johtuen on vaikea antaa mitään nyrkkisääntöjä kumilevyn kovuuden alkuvalintaan. Suunnittelussa tulisi kuitenkin huomioida myös valmistajien ilmoittamat vaihteluvälit kovuusarvoissa. Tämän vuoksi mitoitettaessa esimerkiksi kovuudella ShA 60

kumilevyä, tulee ottaa huomioon, että liitos toimii myös kovuuden ShA 55 kumilevyllä.

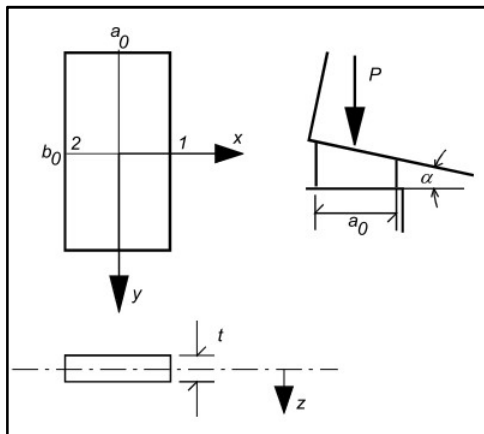
Kumilevyn dimensioid huomioidaan muotoluvulla S kaavan 8 mukaisesti, kun kumilevy on suorakaiteen muotoinen. Kuvassa 4 esitetään kumilevyn dimensioiden suunnat sekä kiertymän  $\alpha$  kulma. Levyn kiertymä tuella on levyn yläpinnan tason kallistuma vaakatasoon nähden.

$$S = \frac{a_0 \times b_0}{2 \times t(a_0 + b_0)} \quad (8)$$

$a_0$  = kumilevyn pienempi sivumitta

$b_0$  = kumilevyn suurempi sivumitta

$t$  = kumilevyn paksuus



Kuva 4. Kumilevyn mitoittamiseen määriteltävät dimensioid (5)

Kumilevyn nimellinen puristuma  $d_c$  tarkistetaan kaavan 9 avulla, kun kiertymäkulma  $\alpha$  vaikuttaa kumilevyssä.

$$d_c = \frac{t \times \sigma_c}{10 \times G \times S + 2 \sigma_c} \leq 0,15t \quad (9)$$

$\sigma_c$  = keskimääräinen puristusjännitys, joka saadaan kaavasta 10.

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad (10)$$

$P$  = kumilevyyn kohdistuva pystyreaktio eli pystykuorma  $F_{Ek}$

$A$  = kumilevyn nimellinen pinta-ala

Leskelä toteaa kokeissaan, että kumilevyn kiertymän takaamiseksi levyn hoikkuusehto rajoitetaan yleensä kaavan 11 mukaisesti.

$$5 \leq \frac{a_0}{t} \leq 15 \dots 20 \quad (11)$$

$b_0/a_0$	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	10
$C_p$	4,73	4,28	4,02	3,84	3,70	3,60	3,51	3,45	3,40	3,35	3,32	3,15
$b_0/a_0$	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	2	3	> 3			
$C_\alpha$	0,464	0,471	0,476	0,48	0,483	0,485	0,489	0,49	0,49			

Taulukko 2. Kumilevyn muotokertoimet  $C_p$  ja  $C_\alpha$  (5)

Nimellisen puristuman sekä elementin tuen kiertymän huomioon ottava kuormitettavuus lasketaan kaavan 12 mukaisesti.

$$P_{k1} = \frac{2 \times G(h) \times A \times S}{1 + 0,017 \times \frac{a_0}{t}} \quad (12)$$

$G(h)$  = kumilevyn liukukerroin lyhytaikaisessa kuormituksessa (kaava 1)

$S$  = kumilevyn muotoluku (kaava 8)

Kuormitettavuuden kaavaa käytetään, kun kiertymän  $\alpha$  suuruudeksi arvioidaan vähintään 0,01. Leskelä olettaa esimerkkilaskelmissaan tämän minimiarvon aina elementtien tuella kiertymäksi. Yleisemmässä muodossaan kiertymän huomioivan kuormitettavuuden kaava voidaan kirjoittaa kaavan 13 muotoon. (5)

$$P_{k1} = \frac{2 \times G(h) \times A \times S}{1 + \frac{a_0 \times \alpha}{4 \times \sigma_c}} \quad (13)$$

$\alpha$  = kumilevyn arvioitu kiertymä radiaaneissa

$d_c$  = nimellinen puristuma (kaava 9)

Kuormitettavuusarvo  $P_{k1}$  varmistaa laskennallisesti, että kumilevyn teoreettinen puristuma on enintään 15 % kumilevyn paksuudesta. (5.)

Palkin pään kiertymistä voidaan myös yrittää arvioida yksinkertaistetun menetelmän likikaavalla. Likikaavan käyttö, kaavassa 14, perustuu oletukseen,

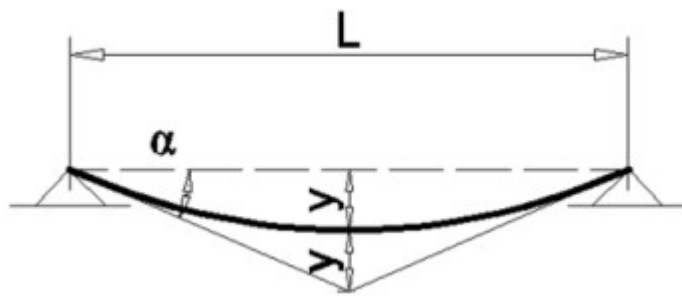
että palkin pään kiertymä tuella vastaa kaksinkertaista palkin taipuman arvoa (kuva 5). (6, s. 26-27)

$$\alpha \approx 0,4 \frac{L}{EI} \times M_{Ek,max} \quad (14)$$

$L$  = palkin jänneväli

$EI$  = palkin tehollinen taivutusjäykkyys

$M_{Ek,max}$  = maksimi kenttämomentti käyttörajatilamitoituksessa



Kuva 5. Palkin kiertymän ja taipuman suhde (6)

Leikkausjännityksiä kumilevyllaakerissa rajoitetaan seuraavien ehtojen mukaan.

$$\tau_c + \tau_r \leq 2,5G \quad (15)$$

$$\tau_c = C_p + \frac{t}{a_0} \times \frac{P_k}{A} \quad (16)$$

$$\tau_r = \alpha \times C_\alpha \times \frac{G}{2} \times \left( \frac{a_0}{t} \right)^2 \quad (17)$$

Kaavat saadaan pyöritettyä muotoon, josta saadaan kaavan 18 mukaiset leikkausjännitykset huomioiva kuormitettavuus kumilevyllaakerille.

$$P_{k2} = \frac{G(h) \times A}{C_p} \times \frac{a_0}{t} \left[ 2,5 - 0,5 \alpha \times C_\alpha \left( \frac{a_0}{t} \right)^2 \right] \quad (18)$$

Kertoimet  $C_p$  ja  $C_\alpha$  ovat vakio kertoimia, jotka määritetään taulukon 2 mukaisesti. Lukujen väliin jäävät arvot voidaan interpoloida.

Kumilevyllaakereiden välitön todellinen painuma  $\Delta_c$  kuormasta  $P$  voidaan tarkistaa kaavan 19 avulla. (5)

$$\Delta_c = \frac{t \times k_{slip} \times P}{8 \times G_r(h) \times A \times S + 2 \times k_{slip} \times P} \quad (19)$$

Kaavassa 19 esiintyvät arvot  $G_r(h)$  sekä  $S_f(s)$ , joista  $G_r(h)$  on jännitysarvo, joka huomioi kumilevyn kovuuden lisäksi kumilevyn muotoluvun  $S$ .  $S_f(S)$  on puolestaan muotoluvusta riippuva vakio. Kaavat määritetään seuraavasti.

$$G_r(h) = G(h) \times S_f(S) \quad (20)$$

$$S_f(S) = \left( \frac{S}{4,7} \right)^{0,3} \quad (21)$$

$k_{slip}$  = kontaktipintojen välisen kitkan vakiokerroin. Leskelän mukaan käytettäessä arvoa 1,9 saadaan parhaiten yhteensopivia tuloksia testikuormitettujen kumilevylaakereiden kanssa. Ehdon  $k_{slip} > 1$  on kuitenkin täytyttävä, jos arvoksi valitaan jokin muu kuin 1,9. (5.)

Edellisten kaavojen perusteella saadaan kolmas kuormitettavuuden ehto, joka ottaa huomioon kumilevyn kokoonpuristuman.

$$P_{k3} = \frac{8 \times \Delta_{c.lim} \times G_r(h) \times A \times S}{(t - 2 \times \Delta_{c.lim}) \times k_{slip}} \quad (22)$$

$\Delta_{c.lim}$  = kokoonpuristuvuuden maksimiraja. Runko-BES-ohjeessa raja on määritelty arvoon 3 mm, jota myös Leskelä käyttää.

Varsinainen kuormitettavuusraja kumilevylle määräytyy edellä olevien kolmen kaavan mukaisesti (kaavat 13, 18 ja 22).

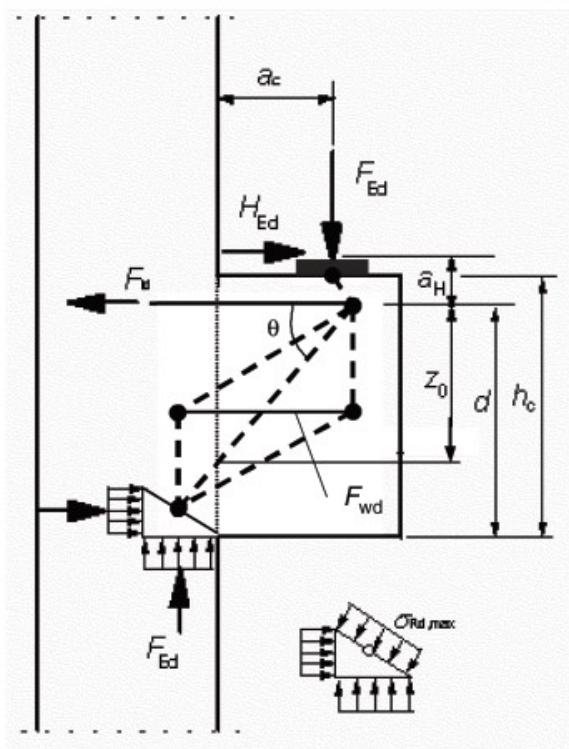
$$P_k = \min\{P_{k1}, P_{k2}, P_{k3}\} \quad (23)$$

## 4 Konsolin mitoittaminen

### 4.1 Ristikkomallit

Ristikkomallit, englanniksi *strut-and-tie*, ovat Eurokoodiin perustuvia rakennemalleja teräsbetonirakenteille, ja kuvaavat hyvin rakenteiden toimintaa murtorajatilassa. Ristikkomallit perustuvat plastisuusteoriaan, ja sen tarkastelemaan alaraajateoreemaan, joten ristikkomallit eivät sovellu itsessään käyttörajoitilatarkasteluihin. (8.)

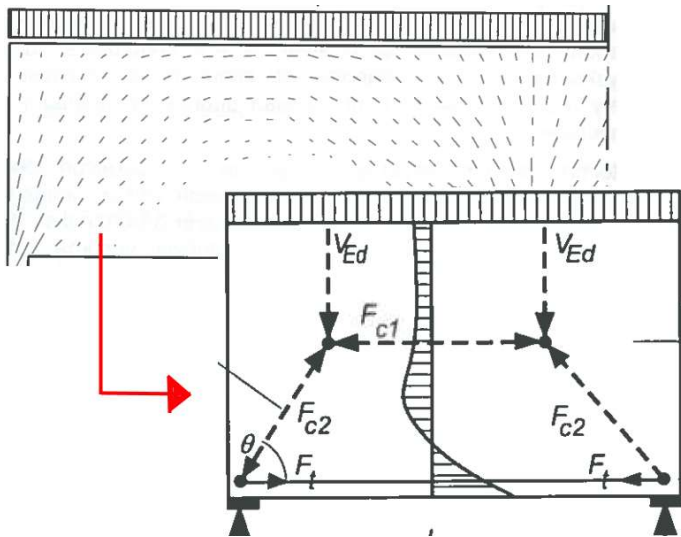
Ristikkomallissa betonirakenteen sisään kuvitellaan ristikkoanalogian mukaiset puristussauvat (*strut*) ja vetosauvat (*tie*), jotka liittyvät toisiinsa solmuissa (*node*). Kuvassa 6 on esitettyä pilarikonsolin ristikkomalli, jossa näkyy kyseiset sauvat sekä solmukohdat. Luvussa 4.2 käsitellään näiden kappaleiden laskentaa sekä ominaisuuksia.



Kuva 6. Konsolin ristikkomalli määriteltynä eurokoodissa, katkoviivalla puristussauvat (strut) ja jatkuvalla viivalla vetosauvat (tie) (9)



Käytettäessä ristikkomallia mitoittamiseen, suunnittelijan tulee ottaa huomioon staattinen tasapaino. Tämän lisäksi on hyvä tiedostaa kimmoteorian mukaiset periaatteet jännitysten jakautumisesta, jännityshuipuista, ja näiden vastaavat yhteensopivuusehdot. Ristikkomallin tärkein periaate on, että rakenteen sisäiset puristussauvat koostuvat betonista ja vetosauvat raudoitteesta. Kuvassa 7 voidaan nähdä näiden sauvojen vaikutusalueet tyypillisessä seinämäisessä palkissa. Suunnittelijan tulee ottaa myös huomioon, että rakenteessa on riittävästi tilaa puristusjännitysten leviämistä varten. Suunnittelija määrittää myös teholliset sauvojen leveydet tasapainoehtojen mukaisesti kriittisissä kohdissa eli solmuissa. (8.)



Kuva 7. Ristikkomallin muodostaminen yksinkertaiselle seinämäiselle palkille (8)

Ristikkomallien teoreema soveltuu hyvin epäjatkuvuuskohtia sisältävien rakenteiden mitoittamiseen. Tällaisia rakenteita ovat muun muassa erilaiset seinämäiset palkit (kuva 7), kehänurkat sekä pilariulokkeet eli konsolit. Näitä epäjatkuvuusalueita kutsutaan D-alueiksi englanninkielisen termin 'discontinuity region' mukaan.

Ristikkoteoria käsittää kolmenlaisia solmukohtia. Solmukohta tarkoittaa rakenteessa kohtaa, jossa eri suunnasta tulevat resultanttivoimat kohtaavat ja jossa voimien tulee olla tasapainossa. Solmun voidaan kuvitella vastaavan ristikkorakenteen nurkkapistettä. (8.)

Solmuihin kohdistuvat voimat syntyvät puristuskaistoista tulevasta betonivoimista, raudoituksen ottamista veto- ja puristusvoimista, jotka tulee ankkuroida solmuun, sekä ulkoisista kuormista, jotka ovat tukireaktioita ja pistemäisiä kuormia. Mitoitettaessa solmuja käsitellään niitä alueina, joissa voimien kuvitellaan jakautuvan tietylle betonin poikkileikkausalueelle. (8.)

## 4.2 Puristus- ja vetosauvojen tarkastelu

Betonisen puristussauvan mitoituslujuus alueella, jolla vaikuttaa poikittainen puristusjännitys tai jolla ei vaikuta poikittaista jännitystä, lasketaan kaavan 24 mukaisesti. (9)

$$\sigma_{Rd,max} = f_{cd} \quad (24)$$

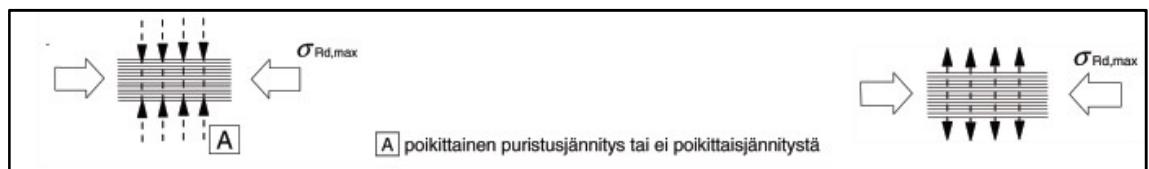
Arvo  $f_{cd}$  on betonin puristuslujuuden mitoitusarvo, joka eurokoodin mukaan kaavasta 25.

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \times \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (25)$$

$\alpha_{cc}$  = kerroin, jonka avulla otetaan huomioon puristuslujuuteen vaikuttavat pitkäaikaistekijät sekä muita epäedullisia tekijöitä. Määräytyy eurokoodin kansallisen liitteen mukaan. Suomessa käytetään arvoa 0,85. (9.)

$f_{ck}$  = betonin lujuusluokan mukainen lieriölujuuden ominaisarvo

$\gamma_c$  = murtorajatilamitoituksen yhteydessä käytetty materiaaliasavarmuusluku betonille. Normaalisti vallitsevassa ja tilapäisessä mitoitusilanteessa käytetään Suomessa arvoa 1,5.



Kuva 8. Betonin puristuskaistojen mitoitusilanteet (9)

Kuvassa 8 vasemmanpuoleisessa tilanteessa on havainnollistettu tilanne, jolloin voidaan käyttää edellä olevia betonin mitoituslujuuksia, eli puristusilanne, jossa

ilmenee poikittaista puristusta lisänä tai ei muita poikittaisia rasituksia. Lisäksi kuvan oikean puolen tilanne kuvaa tilannetta, jossa puristuskaistassa ilmenee poikittaista vetoa. Tässä tilanteessa betonin puristussauvojen mitoituslujuutta pienennetään eurokoodin määrittelemän kaavan 26 mukaisesti. (9)

$$\sigma_{Rd,max} = 0,6 \times v' \times f_{cd} \quad (26)$$

Kertoimen  $v'$  arvo voidaan esittää eurokoodin kansallisessa liitteessä. Suositusarvo kertoimelle on kaavan 27 mukainen. Kerroin vastaa leikkaushalkeilleen betonin lujuuden pienennyskerrointa  $v$  muokattuna, joka esitetään eurokoodin SFS-EN 1992-1-1 luvussa 6.2.2 Leikkausraudoittamattomat rakenteet (9). Tässä luvussa esitellään myös vaihtoehtoinen laskentamenetelmä konsoleille verrattuna ristikkomenetelmään.

$$v' = 1 - \frac{f_{ck}}{250} \quad (27)$$

Tarvittaessa voidaan tarkastaa puristetun sauvan normaalivoimakestävyys kaavalla 28. Olettamuksena on, että betonisauva on aksiaalipuristettu. (8)

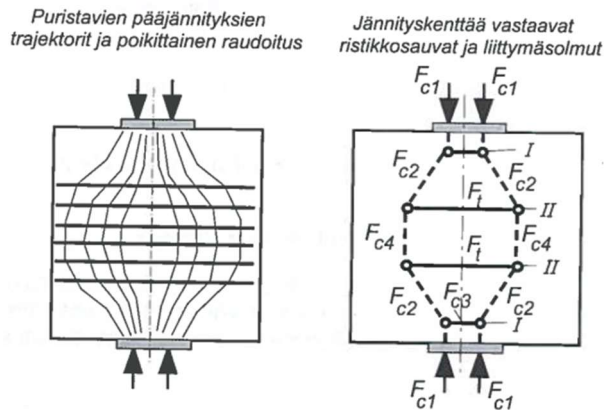
$$N_{c,Rd} = b_{ef} \times t \times \sigma_{Rd,max}; \text{ kun } \sigma_{Rd,max} \leq f_{cd} \quad (28)$$

$\sigma_{Rd,max}$  = puristussauvan mitoitusjännitys

$b_{ef}$  = puristetun sauvan mitoitusleveys. Tarpeellinen leveys tulee valita siten, että kun vetopaarteeseen syntyy mitoituskuorman  $2F$  mukainen voima  $A_{sf,sd}$ , voimatasapainon vallitessa diagonaalin kestävyttä ei ylitetä. Puristuskaistoissa mitoituslujuus tulee määrittäväksi harvoin. Tämä tarkoittaa sitä, että suurimmat jännitykset ilmenevät solmukohdissa eivätkä puristuskaistoissa, jolloin lujuudet tulee tarkistaa mitoitettaessa solmuja eikä puristussauvoja. (8.)

Poikittaisia vetosauvoja sekä raudoitusta tarkasteltaessa on muistettava huomioida mitoituslujuuksien rajoitukset eurokoodin mukaisesti. Poikittainen veto syntyy konsoliin puristusdiagonaalin johdosta ns. pullomaisena muotona, kuten kuvasta 9 voidaan nähdä. Tätä vetovoimaa vastaan mitoitetaan halkaisuraudoitus, joka jaetaan koko epäjatkuvuusalueen pituudelle ja

raudoituksen tulee vastata vetovoimaa  $T$ , kun sauvan sisäiset solmut ulottuvat huomattavalle pituudelle sauvan suunnassa. (8.)



Kuva 9. Puristavasta pääjännityksestä syntyvä poikittainen veto ja vetoraudoitus (8.)

Poikittainen vetovoima määritetään osittain muuttuvassa jännityskentässä alueilla, kun  $b \leq H/2$  kaavan 29 mukaisesti.

$$T = \frac{1}{4} \times \frac{b-a}{b} \times F \quad (29)$$

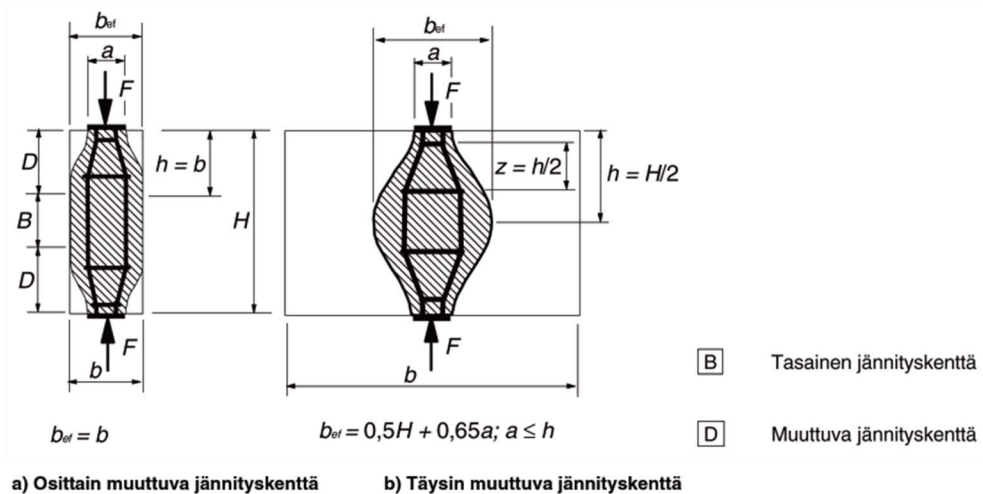
$F$  = puristussauvan suuntainen mitoitusvoima

Parametrit  $a$  ja  $b$  määritellään kuvan 10 mukaan.

Poikittainen vetovoima määritetään puolestaan täysin muuttuvassa jännityskentässä alueilla, kun  $b > H/2$  ja  $b > b_{ef}$  kaavan 30 mukaisesti (9.). Huomautuksena, että tässä kaavassa on aikaisemmin ollut alkuperäisessä eurokoodin standardissa kertoimen 0,7 kohdalla (aikaisemmin 1,4) virhe, joka on korjattu eurokoodin SFS-EN 1992-1-1+A1+AC (vahvistettu 2015-01-19) versioon.

$$T = \frac{1}{4} \times \left(1 - 0,7 \times \frac{a}{H}\right) \times F; \quad b_{ef} = 0,5H + 0,65a; \quad a \leq H \quad (30)$$

Parametrit  $a$ ,  $H$  ja  $b_{ef}$  määritetään tässäkin vastaavasti kuvan 10 mukaan.



Kuva 10. Parametrit poikittaisten vetovoimien määrittämiseksi puristus kentässä (9)

### 4.3 Solmujen tarkastelu

Solmukeskittymien mitoitus ja yksityiskohtien suunnittelu on äärimmäisen tärkeää mitoittaessa mekaanista kestävyyttä. Solmukohtia syntyy normaalisti kohtiin, joissa pistekuormat vaikuttavat, tuilla, ankkurointialueilla raudoituksen tai jänneteräksen keskittymiskohdissa, raudoitustankojen taivutuskohdissa sekä rakenneosien kiinnityksissä ja kulmissa. (9.)

Ulkoinen kuorma voidaan jakaa useiksi osakuormiksi (kuva 9), jotta saadaan muodostettua tarvittava ristikkomalli. Solmun voimia tarkasteltaessa tunnetaan aina yksi komponentti, jonka avulla voimamonikulmio sulkeutuu, minkä seurauksena betonin ja raudoituksen voimat voidaan ratkaista. (8.)

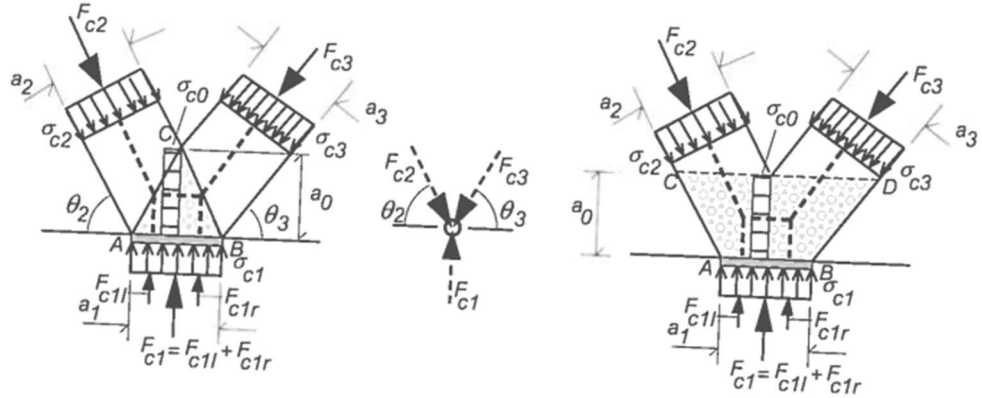
Puristussolmujen, joissa solmuun ei ankkuroidu vetosauvoja (kuva 11), mitoituslujuus saadaan kaavan 31 mukaisesti. (9.)

$$\sigma_{Rd,max} = k_1 \times v' \times f_{cd} \quad (31)$$

$k_1$  = vakio, joka voidaan esittää eurokoodin kansallisessa liitteessä. Käytetään suositusarvoa 1,0.

$v'$  = sama kuin kaava 27

$f_{cd}$  = betonin lieriölujuuden mitoitusarvo, sama kuin kaava 25



Kuva 11. Kolmio- ja puolisuunnikassolmut, joissa tasapainotetaan kolme puristavaa voimaa (8)

Jos kolmen puristussauvan liitoksessa solmukolmion sivut valitaan kohtisuoriksi niihin kohdistuvan voiman suuntaan nähden, jännitykset kaikissa rajapinnoissa ja solmualueen sisällä ovat vakioita ja yhtä suuria jokaisessa suunnassa. Tällöin voidaan tehdä kaavan 32 mukainen oletamus, ja silloin tarvitsee tarkistaa vain jännitys  $\sigma_{c1} \leq \sigma_{Rd,max}$ . (8; 9)

$$\frac{F_{c1}}{a_1} = \frac{F_{c2}}{a_2} = \frac{F_{c3}}{a_3} \rightarrow \sigma_{c1} = \sigma_{c2} = \sigma_{c3} = \sigma_{c0} \quad (32)$$

Kuvan 12 mukaisissa puristus- ja vetosauvojen liittymäsolmuissa jännitystila on monimuotoisempi kuin puhtaissa puristusolmuissa. Ankkurointi on tarkistettava näissä solmuissa tavanomaisia mitoitusperiaatteita mukaillen. Solmun kestävyys saadaan kaavasta 33. (9.)

$$\sigma_{Rd,max} = k_2 \times v' \times f_{cd} \quad (33)$$

$k_2$  = vakio, joka voidaan esittää eurokoodin kansallisessa liitteessä. Käytetään suositusarvoa 0,85.

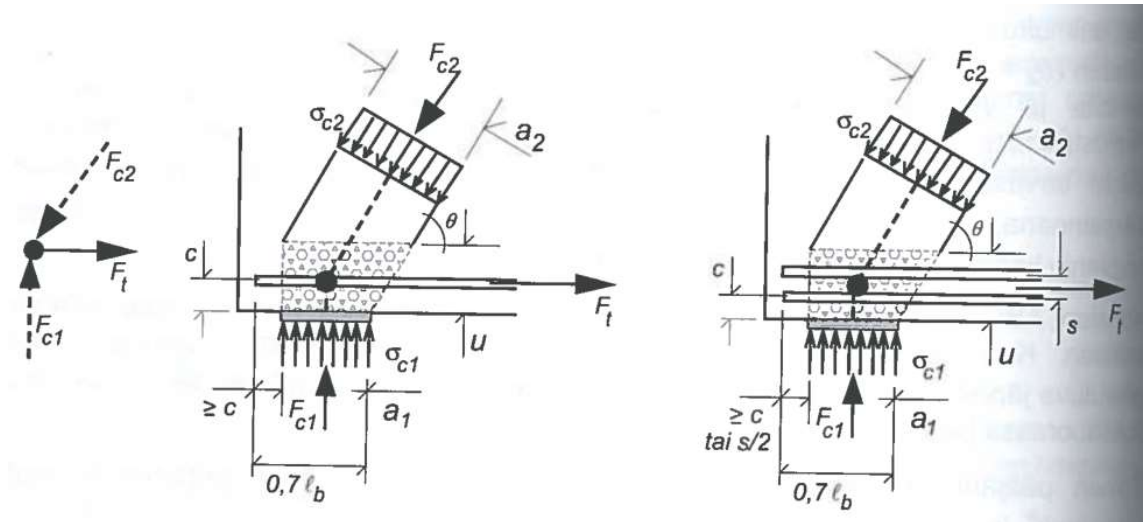
Solmun muodon ollessa kiinnitetty niin, että tuen leveys  $a_1$ , puristusdiagonaalin suuntakulma  $\theta$  ja vetosauvan korkeus  $u$  (kuva 12) ovat tunnetut, diagonaalin leveys  $a_2$  voidaan määrittää kaavasta 34. (8.)

$$a_2 = a_1 \times \sin \theta + u \times \cos \theta \quad (34)$$

Solmussa tarkistetaan jännitykset, jotka johtuvat tukipaineesta (kaava 35) sekä diagonaalin puristusjännityksestä (kaava 36). Kaavoissa arvo  $b$  on rakenteen paksuus. (8.)

$$\sigma_{c1} = \frac{F_{c1}}{a_1 \times b} \leq \sigma_{Rd,max} \quad (35)$$

$$\sigma_{c2} = \frac{F_{c2}}{a_2 \times b} \leq \sigma_{Rd,max} \quad (36)$$

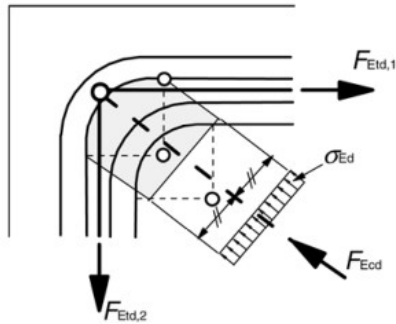


Kuva 12. Puristus-vetosolmuja (8.)

Vetosauvan korkeus  $u$  voidaan määrittää taulukon 3 avulla. Taulukossa arvo  $c$  on betonipeitteen nimellinen paksuus  $c_{nom}$ , ja arvo  $s$  on raudoituksen tankoväli pystysuunnassa. (8.)

$u = 0$	Käytetään, kun yhdessä kerroksessa oleva raudoitus ei ankkuroidu solmun taakse.
$u = 2c$	Käytetään, kun yhdessä kerroksessa oleva raudoitus ankkuroituu vähintään mitan $c$ solmun alueen taakse.
$u = 2c + (n+1)s$	Käytetään, kun $n$ kerrosta käsittävä raudoitus ankkuroituu vähintään $\max\left\{c, \frac{s}{2}\right\}$ solmun alueen taakse.

Taulukko 3. Vetosauvan korkeuden  $u$  määrittäminen (8)



Kuva 13. Puristettu ja vedetty solmu, jossa kahden suunnan vetorausoititus (9)

Kuvan 13 osoittamissa solmukohdissa, jossa vetorausoitituksen suunta muuttuu, ja joihin liittyy puristussauva, voidaan solmun lujuus laskea kaavasta 37 (9).

$$\sigma_{Rd,max} = k_3 \times v' \times f_{cd} \quad (37)$$

$k_3$  = vakio, joka voidaan esittää eurokoodin kansallisessa liitteessä. Käytetään suositusarvoa 0,75.

Kuvissa 9 ja 10 esiintyvillä välisolmuilla, joita esiintyy puristussauvojen puristuskaistojen suunnanmuutoksista johtuen, ei ole kriittistä merkitystä puristusjännityksien kannalta. Näissä solmuissa syntyvä poikittainen veto hoidetaan poikittaisella raudoituksella, ja riittää, että tarkistetaan riittävä raudoituksen ankkurointi solmun alueella. (8)

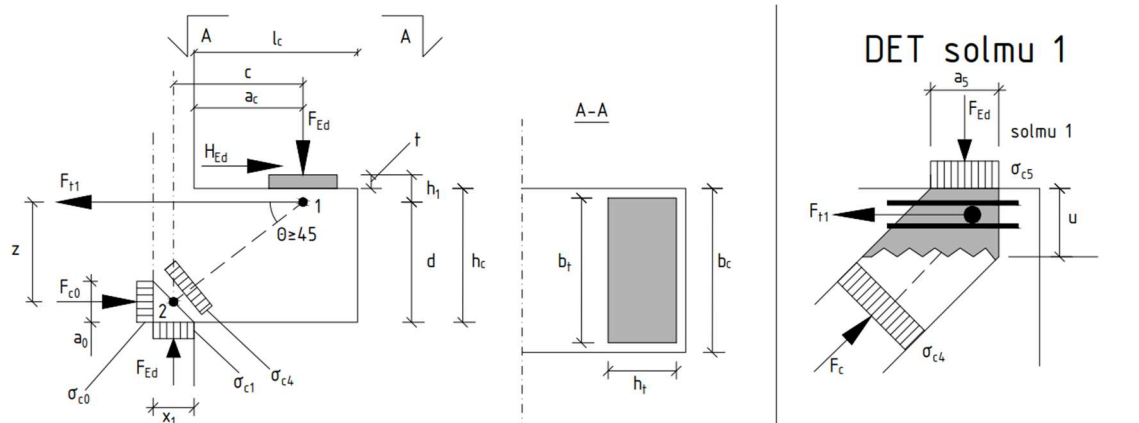
#### 4.4 Pilarikonsolin mitoituksen kulku

Tässä työssä käsitelty pilarikonsolin mitoitusmenetelmä perustuu ristikkomenetelmään, joka on esitelty edellä. Pilarikonsolien rakennemalli muodostetaan hyväksi käyttäen kirjassa by 210: Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus esiteltyä mallia sekä lisäksi hyväksi käyttäen eurokoodin standardia SFS-EN 1992-1-1. Mitoitusohje koskee vain korkeuteensa nähden lyhyitä ulokkeita.

Mitoituksen kulku lähtee määrittelemällä konsolille syntyvät kuormat. Näitä ovat pystykuorman mitoitusarvo  $F_{Ed}$  sekä vaakavoiman mitoitusarvo  $H_{Ed}$ . Kuormat määritellään normaalisti eurokoodin standardin SFS-EN 1991-1-1 Rakenteiden kuormat mukaisesti. Kuvassa 14 esitetään by 210 -kirjan mukainen ristikkomalli



ulokkeen mitoittamiselle. Kuvassa 6 voidaan puolestaan nähdä eurokoodissa määritelty vastaava laskentamalli. Ulokkeisiin syntyvä leikkausvoima on useimmiten huomattavasti suurempi, kuin ulokkeeseen syntyvä momentti, tämän lyhyen luonteen vuoksi. Systeemin tasapainoa pidetään yllä solmussa 2 vaikuttavan puristavan voiman  $F_{Ed}$  sekä vetopaarteissa vaikuttavan vetovoiman  $F_{t1}$  avulla. (8.)



Kuva 14. Ulokkeen ristikkomalli (8)

Mitoitus aloitetaan laskemalla konsolin alapinnassa olevan puristussolmun (kuva 14, solmu 2) vaakasuora mitta  $x_1$ , joka saadaan kaavan 38 mukaisesti.

$$x_1 = \frac{F_{Ed}}{b \times f_{cd1}} \quad (38)$$

$F_{Ed}$  = konsolin murtorajatilán pystykuormien arvo

$b$  = voiman  $F_{Ed}$  leveys sekä tästä johtuvan puristusresultantin sauvan leveys solmussa 2

$f_{cd1}$  = puristussauvan lujuus, joka saadaan kaavasta 31, kun kyseessä on puhtaasti puristettu solmu

Puristusleveydeksi  $b$  on liitteessä 2, Pilarikonsolin mitoitus, valittu tehokkaaksi leveydeksi liitokseen lisätyn kuormituslevyn leveys (kuvassa 14 mitta  $b_t$ ) eli mahdollisen neopreenin, teräslevyn tai muun vastaavan kuormia jakavan levyn leveys (katso luku 3). Näin saadaan myös tuloksia, jotka ovat turvallisemmalla puolella murtomekanismiin nähden, kun koko pilarin ja konsolin leveyttä ei huomioida.

Kuorman  $F_{Ed}$  momenttivarsi  $c$  määräytyy kaavan 39 mukaisesti.

$$c = a_c + \frac{x_1}{2} \quad (39)$$

$a_c$  = kuormitusresultantin etäisyys pilarin tai pääkannattajan pinnasta (kuva 14)

Konsoliin muodostuva momentti aiheutuu kahdesta tekijästä kaavan 40 mukaisesti (8).

$$M_{Ed,s} = F_{Ed} \times c + H_{Ed} \times h_1 \quad (40)$$

$H_{Ed}$  = konsolin vaakavoiman mitoitusarvo

$h_1$  = mitta korkeussuunnassa vetoraudoituksen painopisteestä solmussa 1 kuormituslevyn yläpintaan voiman  $F_{Ed}$  vaikutuspisteeseen.

Mitta  $h_1$  saadaan selvitettyä kaavan 41 mukaisesti kuvaa 14 apuna käyttäen, kun tunnetaan vetoraudoituksen painopiste.

$$h_1 = h_c + t - d \quad (41)$$

$h_c$  = konsolin kokonaiskorkeus

$t$  = konsolin päällä olevan kuormituslevyn paksuus

$d$  = etäisyys konsolin vetopaarteen vetoraudoituksen painopisteeseen konsolin alapinnasta

Konsolin sisäisen puristusresultantin  $F_{c0}$  ja vetoresultantin  $F_{t1}$  voimaparin momenttivarsi saadaan näin laskettua kaavan 42 mukaisesti.

$$z = d - \frac{a_0}{2} \quad (42)$$

$a_0$  = solmun 2 korkeus puristusresultantille  $F_{c0}$

Solmun 2 korkeutta joudutaan arvioimaan varman ratkaisun puolelle, tai joudutaan iteroimaan, jotta yhtälön 43 ehto toteutuu (8).

$$\sigma_{c0} < f_{cd1} \quad (43)$$

Konsolissa tulee myös tarkastaa sauvojen suuntakulma  $\theta$  solmujen 1 ja 2 puristusresultantin sekä vaakasuoran vetosauvan välillä. Kulman tulee täyttää kaavan 44 ehto, jos käytetään ristikkomenetelmää mitoitukseen. Itse kulma voidaan määrittää esimerkiksi kaavan 37 avulla.

$$1,0 \leq \tan \theta \leq 2,5 \quad (44)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{z}{c} \right) \quad (45)$$

Jännityksen  $\sigma_{c0}$  ratkaisemiseksi on ensiksi laskettava puristusresultantin  $F_{c0}$  arvo kaavan 46 mukaan.

$$F_{c0} = \frac{M_{Ed,s}}{z} \quad (46)$$

Kun nämä on ratkaistu, voidaan johtaa puristusresultantin suuruus kaavasta 47, jonka arvoa verrataan puristussauvan mitoituslujuuteen  $f_{cd1}$ . Kaavassa sovelletaan tässäkin sauvan leveydeksi  $b$  samaa arvoa kuin kaavassa 38, jotta saadaan johdonmukaisia tuloksia. (8)

$$\sigma_{c0} = \frac{F_{c0}}{b \times a_0} \quad (47)$$

Konsolin vaatima vetoraudoitus  $A_s$ , joka sijoitetaan konsolin yläpintaan, mitoitetaan voimalla  $F_{t1}$ , joka saadaan kaavasta 48. Vetoraudoituksen tulee toteuttaa kaavan 49 ehto. (8)

$$F_{t1} = F_{c0} + H_{Ed} \quad (48)$$

$$A_s \geq \frac{F_{t1}}{f_{sd}} \quad (49)$$

$f_{sd}$  = raudoituksen lujuuden mitoitusarvo, joka noudattaa kaavaa 50

$$f_{sd} = \frac{f_{sk}}{\gamma_s} \quad (50)$$

$f_{sk}$  = raudoituksen lujuuden nimellisarvo

$\gamma_s$  = betoniteräksen osavarmuusluku. Normaalilla ja vallitsevalla mitoitusilanteessa käytetään Suomessa arvoa  $\gamma_s = 1,15$ .

Solmun 1 osalta tarkistetaan seuraavaksi puristusjännityksen kokonaisarvo  $\sigma_{c5}$  (kts. kuva 14, DET solmu 1). Puristusjännitys määritetään kaavan 51 avulla. (8)

$$\sigma_{c5} = \frac{F_{Ed}}{b \times a_5} \left( 1 + \left( \frac{H_{Ed}}{F_{Ed}} \right)^2 \right) \quad (51)$$

$a_5$  = kuorman leveys ulokkeen suunnassa. Kuvasta 14 voidaan nähdä kuormituslevyn mitta  $h_t$ , joka vastaa tätä.

Puristusjännityksen resultantin tulee täyttää seuraava ehto.

$$\sigma_{c5} \leq f_{cd3} \quad (52)$$

$f_{cd3}$  = mitoituslujuus betonille solmussa 1, määrytyy kaavan 26 mukaisesti

Vetovoiman  $F_{t1}$  ankkurointitarpeesta solmun 1 alueella syntyy vaakasuora nimellinen jännitys  $\sigma_{c6}$ , jonka täytyy myös täyttää kaavaa 52 vastaava ehto  $\sigma_{c6} \leq f_{cd3}$ . Jännitys lasketaan seuraavalla kaavalla. (8.)

$$\sigma_{c6} = \frac{F_{t1}}{b \times u} \quad (53)$$

$u$  = solmuun 1 ankkuroituvan vetosauvan leveys. Leveyden merkittävänä tekijänä toimii se, onko raudoitusta jaettu useampaan kerrokseen. Leveys määrytyy taulukon 2 mukaan.

$b$  = rakenteen leveys. Käytetään samaa arvoa kuin kaavassa 38 leveytenä

Kun jännitysten  $\sigma_{c5}$  ja  $\sigma_{c6}$  ehdot toteutuvat, jännitys  $\sigma_{c4}$  on automaattisesti hyväksyttävällä puolella (kts. kuva 14) (8.).

Diagonaalivoima  $F_c$ , joka syntyy solmujen 1 ja 2 välille, aiheuttaa poikittaisen halkaisuvoiman konsolille, mikä tulee myös ottaa huomioon mitoituksessa. Halkaisuvoimat voidaan hallita hakaraudoitteilla sekä vaakasuorana pintaraudoitteena. Diagonaalivoima halkaisumitoitusta varten määritetään kaavasta 54. (8.)

$$F_c = \frac{F_{Ed}}{\sin \theta} \quad (54)$$

Halkaisuvoima  $T$  mitoitetaan kaavojen 29 ja 30 avulla, kun otetaan huomioon myös ko. kaavojen ehdot. Halkaisuraudoituksen lisäksi konsolille tulee tarkistaa lisäehtoja eurokoodin mukaisesti.

Jos konsolille tulevan mitoituskuorman  $F_{Ed}$  kuormitusresultantin mitta  $a_c$  on ehdon  $a_c < 0,5h_c$  mukainen, tulee konsoliin lisätä vaakasuuntaisia tai kaltevia hakoja ehdon 55 mukaisesti. (9.)

$$A_{s,ink} \geq k_1 \times A_{s,main} \quad (55)$$

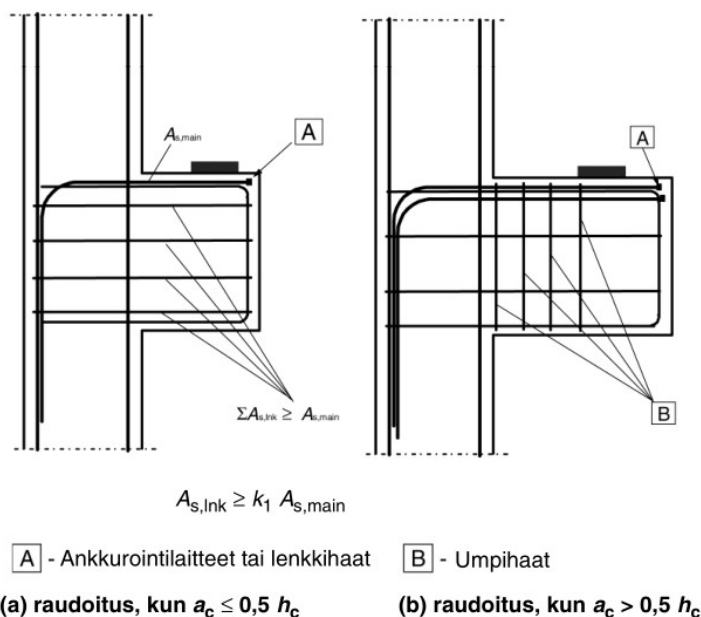
$k_1$  = Voidaan antaa eurokoodin kansallisessa liitteessä. Suositusarvo on 0,25.

$A_{s,main}$  = konsolin päävetorausituksen mitoituspinta-ala, kuten kaavassa 49

Jos edellä esitetyn kuormitusresultantin etäisyys  $a_c$  puolestaan ylittää raja-arvon  $a_c > 0,5h_c$  ja  $F_{Ed} > V_{Rd,c}$  yhtäaikaaisesti, varustetaan konsoli lisäksi kaavan 56 mukaan määritellyillä pystysuuntaisilla umpihaoilla. Kuvassa 15 on määritelty näiden kahden lisäehdon toteutuksia konsolissa eurokoodin mukaan. (9)

$$A_{s,ink} \geq k_2 \times \frac{F_{Ed}}{f_{sd}} \quad (56)$$

$k_2$  = Voidaan antaa eurokoodin kansallisessa liitteessä. Suositusarvo on 0,5.



Kuva 15. Konsolin yksityiskohtien suunnittelu (9)

Konsolin leikkauslujuuden mitoitusarvolle määrittämiselle  $V_{Rd,c}$  voidaan soveltaa eurokoodin SFS-EN 1992-1-1 lukua 6.2.2 Leikkausraudoittamattomat rakenteet. Leikkauskestävyys määritetään kaavan 57 mukaisesti. Leikkauskestävyyden suuret saadaan kaavojen 58–60 mukaisesti. (9)

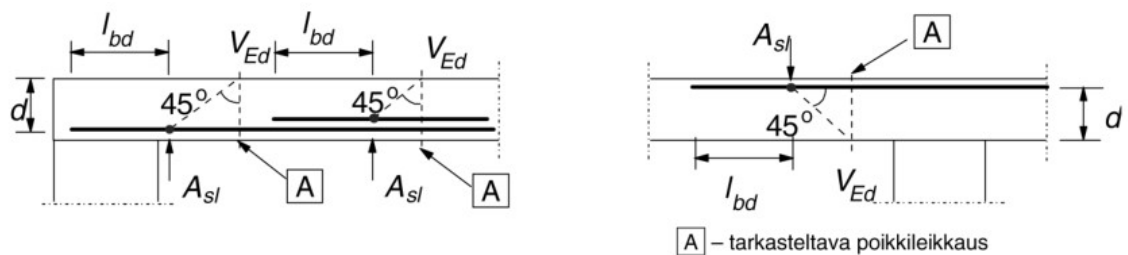
$$V_{Rd,c} = \left[ C_{Rd,c} \times k \times (100 \times \rho_l \times f_{ck})^{1/3} + k_1 \times \sigma_{cp} \right] \times b_w \times d \quad (57)$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} \quad (58)$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0 \quad (59)$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \times d} \leq 0,02 \quad (60)$$

$A_{sl}$  = tarkasteltavassa poikkileikkauksessa momentin itseisarvon pienenemissuuntaan vähintään mitan  $(l_{bd} + d)$  verran ulottuvan vetoraudoituksen pinta-ala. Kuvassa 16 on esitetty periaate poikkileikkauksen ja vetoraudoituksen määrittelylle.



Kuva 16. Vetoraudoituksen  $A_{sl}$  määrittelykohta (9)

$f_{ck}$  = betonin lieriölujuuden ominaisarvo

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} < 0,2 \times f_{cd} \quad (61)$$

$A_c$  = betonipoikkileikkauksen pinta-ala

$b_w$  = poikkileikkauksen pienin leveys vedetyllä korkeudella

$d$  = konsolin tehollinen korkeus vetoraudoituksen painopisteeseen

$N_{Ed}$  = kuormituksesta johtuva poikkileikkauksen normaalivoima

Konsolille on myös tarkastettava leikkauslujuuden vähimmäisarvo, joka saadaan kaavan 62 avulla.

$$V_{Rd,c} = (v_{min} + k_1 \times \sigma_{cp}) \times b_w \times d \quad (62)$$

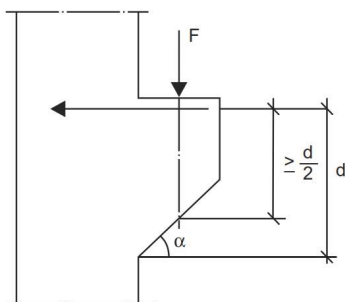
Suureelle  $v_{min}$  saadaan arvo eurokoodin mukaisesti seuraavasti.

$$v_{min} = 0,035 \times k^{3/2} \times f_{ck}^{1/2} \quad (63)$$

$k_1$  = kertoimen arvo on 0,15 eurokoodin mukaan

Konsolin päävetoraudoitus ankkuroidaan molemmista päistään. Ankkurointi tapahtuu tukena olevan rakenneosan vastakkaiselle puolelle, ja ankkurointipituus tähän suuntaan mitataan etupuolella olevan pystyraudoituksen mukaan. Toisessa päässä vetoraudoitus ankkuroidaan solmussa 1 konsoliin kuvan 12 osoittamalla tavalla, ankkurointipituus mitataan konsolin tukilevyn sisäreunasta. Koska konsolin ankkurointiin, solmun 1 kohdalla, raudoituksen osalta kohdistuu voimien  $F_{Ed}$  ja  $F_c$  aiheuttama kohtisuora puristusjännitystilä, on tarvittava ankkurointipituuden nettoarvo  $0,7l_b = l_{b,net}$  ja ankkurointipituuteen liittyvä kerroin  $\alpha_5 = 0,7$ .

Konsolin ollessa vinokonsoli kuvan 1 osoittamalla tavalla tarkistetaan vielä vinon konsolin toimivuus soveltaen kirjassa By16 määriteltyä ohjetta, sillä eurokoodi ei ota kantaa vinokonsoleihin suoranaisesti. Kuvassa 17 on havainnollistettu ehto vinon konsolin alapinnan kulmalle  $\alpha$ . Mitoitusvoiman  $F_{Ed}$  resultantin  $a_c$  etäisyyden tukirakenteesta tulee olla määritelty siten, että voiman resultantin kohdalla poikkileikkauksen korkeuden mitoitusarvo on suurempi kuin  $d/2$  kulman  $\alpha$  ollessa määritetty. (10.)



Kuva 17. Ulokkeen vino alareuna (10)

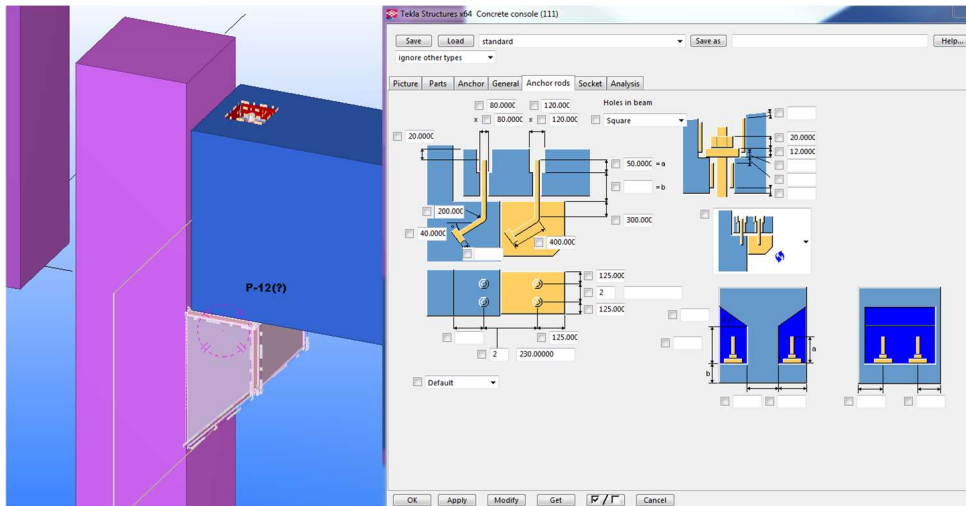
## 5 Tekla Structures ja konsolin mallintaminen

Tekla Structures on yhdysvaltalaisen yrityksen, Trimblen, vuonna 2011 suomalaisilta hankkima tietomallintamisen ohjelmisto. Tätä ennen Tekla Structures -ohjelmistoa kehitti suomalainen yritys nimeltä Teknillinen Laskenta Oy (myöhemmin Tekla Oy) Tekla Oy sulautui kokonaisuudessaan Trimbleen, ja ohjelmiston omistus- ja hallinnointioikeudet siirtyivät siinä samassa Trimblelle. (11.)

Tekla Structures -ohjelmistolla tietomallintaminen vähentää virheiden syntymistä suunnittelussa, auttaa eri osapuolten koordinoinnissa suunnitelmia tuottaessa, helpottaa dokumenttien tuottamista sekä auttaa mukautumaan suunnitelmamuutoksiin vaivattomasti. Teklaan luotua mallia voivat hyödyntää myös muutkin kuin pelkät rakennesuunnittelijat, esimerkiksi urakoitsijan tarjouslaskijat projektien laskentavaiheessa. (12.)

Tässä työssä esitellään Teklan valmiita työkaluja, komponentteja, joilla on mahdollista luoda konsoleita betonirakenteille tietomallissa. Versio, jolla komponentteja testattiin, oli Tekla Structures 21.0. Teklassa saatavilla olevat valmiit komponentit ovat monipuolisesti kustomoitavissa konsoliliitoksen luontiin, ja vaihtoehtoja on useita. Tämän vuoksi työssä todettiin, että ei ole kannattavaa alkaa luoda omia custom-komponentteja (käyttäjämääritteisiä) tyhjästä. Lisäksi betonikonsolien suunnittelu on usein niin tapauskohtaista, että Teklan komponentteihin ei luotu valmiita asetuksia täydellisesti jokaiselle vakioittaiselle konsolille. Kuvassa 18 on havainnollistettu konsolikomponentti vaalealla sävyllä lisättynä pilarin ja palkin liitokseen sekä esimerkki yhdestä komponentin välilehdestä parametreineen.

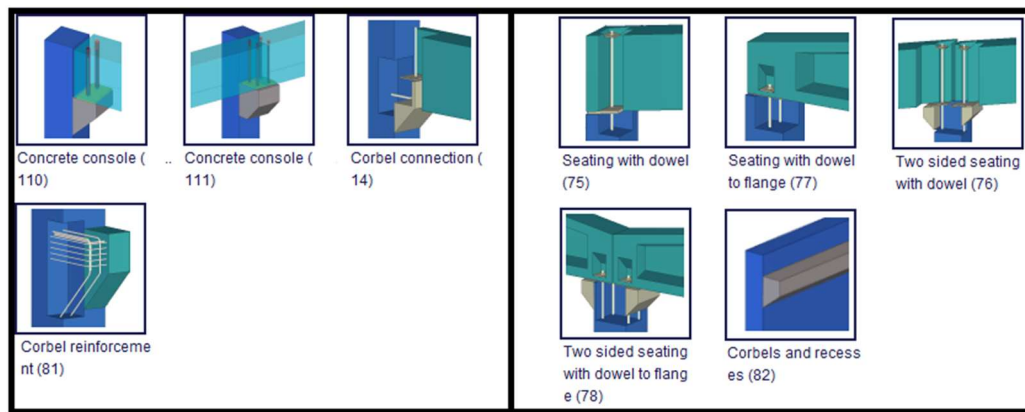




Kuva 18. Liitoskomponentti ja asetukset

Komponenteissa huomioitiin joitakin virheitä, joita esiintyy käyttämällä vakioasetuksia, kuten esimerkiksi se, että liitoksen tarvikkeet (esim. aluslevyt ja mutterit) eivät tarttuneet elementtipilarin kokoonpanoon, kun komponentit määriteltiin paikalleen malliin. Tällaisia epäkohtia komponenttien asetuksissa korjattiin ja tallennettiin komponenttien perusasetuksiin, jotka myöhemmin lisätään Pöyryn ympäristöön kaikkien Teklalla mallintavien suunnittelijoiden käyttöön.

Kuvassa 19 on esitelty konsolien mallintamiseen soveltuvat komponentit Teklan komponenttikatalogissa. Vasemmalla puolella ovat eroteltuina komponentit, joita suositellaan käytettäväksi konsoleita mallintaessa ja raudoitusta luodessa. Näiden komponenttien oletusasetukset luovat melko vaivattomasti yksinkertaisia parametreja säätämällä konsolityyppisen liitoksen. Kuvassa oikealla puolella erotelluilla komponenteilla puolestaan onnistuu myös konsoliliitoksen luominen, mutta näiden oletusasetukset eroavat vasemmanpuoleisista, ja näiden luomat liitokset poikkeavat jokseenkin detaljeiltaan Suomessa tavanomaisesti käytetyistä vakioliitosdetaljeista. Tämän vuoksi kuvan 19 oikealla puolella esitettyjä ei suositella käytettäväksi ainakaan oletusasetuksineen.



Kuva 19. Konsolien mallintamiseen ja raudoittamiseen soveltuvat komponentit

Suosittelut komponentit ovat nimeltään Concrete console (110), Concrete console (111), Corbel connection (14) ja Corbel reinforcement (81) (13.). Näistä Concrete console (110) ja Corbel connection (14) on luotu kahden elementin liittämiseen toisiinsa, kun taas Concrete console (111) soveltuu kolmen elementin liitokseen, esim. pilari ja kaksi palkkia, ja Corbel reinforcement (81) on komponentti, joka on luotu toimimaan yhdessä Corbel connection -komponentin kanssa. Tällä komponentilla onnistuu raudoituksen luominen komponentilla määritettyyn konsoliin. Esikatselukuvista huolimatta komponenteilla onnistuu myös esimerkiksi pilarin pään loveaminen sisään ja palkin tuomisen pidemmälle tukipinnalle sekä vaarnatapien monipuolinen kustomoiminen.

Komponenttien mallinnusohjeessa käydään läpi komponenttien dialogien asetuksia välilehti kerrallaan sekä selostetaan, kuinka jokainen yksittäinen parametri muuttaa liitoksen olemusta. Aivan kaikkia suunnitteluvaiheessa päätettyjä asioita ei voida määritellä yksinkertaisesti liitoskomponentin asetusten kautta, jolloin joudutaan käyttämään avuksi mallinnettujen osien UDA-tietoja (user-defined attributes) (14). UDA-tiedot ovat tietomalliin määritettyjä rakenneosien lisätietoja, kirjaimellisesti käyttäjämääritteiset ominaisuudet, joita suunnittelija pystyy määrittelemään mille tahansa mallinnetulle osalle.

Kuvassa 20 on esitetty, kuinka UDA-tietoja voidaan lisätä komponentilla luodun liitoksen osiin ja kuinka tämä tieto siirtyy Teklan piirustustilaan (mustalla taustalla). Kuvassa vaarnatapille lisätään tieto yläpään kierteistyksestä mutteria varten.

Komponenteilla sekä ilman komponentteja konsolin mallintaminen on tarkemmin käsitelty liitteenä olevassa mitoitusohjeessa. Ohjeeseen sisällytetään Pöyryn omat sisäiset ohjeet ja nimeämisohjeet, joita sovelletaan jokaisessa Pöyryn Teklalla tuotetussa projektissa. Nämä ohjeet määräävät esimerkiksi osien luokat sekä osien ja kokoonpanojen etuliitteet. (15)

PIIR. NUMERO	LKM	MATERIAALI	PINTA-ALA [m²]
EP-1, ELEMENTTI	1	C40/50	0.37
ELEMENTTI 1			
MÄÄRÄ	TARVIKKEET		
4 kpl	APK36 Column shoe		
2 kpl	MUTTERI 8.8 M32		
2 kpl	ALUSLEVY 1.4301 100*100*12		
1 kpl	NEOPREENI NEOPREENI 10*410*230		
2 kpl	TAPPI Ø32 1610.0mm A500HW, kierre M30 yläpäässä L = 150 mm		
60.6 kg	B500B ø 10		

Kuva 20. UDA-tietojen lisäys vaarnatapille

## 6 Mitoitusten tulokset

### 6.1 Kumilevylaakerien tulokset

Kumilevylaakerien laskentaa Matti Leskelän kehittämällä menetelmällä verrataan vapaasti saatavilla olevan saksalaisen tuotetoimittajan, ESZ Wilfried Becker GmbH -yrityksen, tarjoamiin tuotteisiin, joita on käytetty Suomessakin talonrakennuskohteissa.

Työssä ei oteta kantaa tuotetoimittajan kumilevyjen standardointiin eikä kumilevyjen materiaaliominaisuuksiin sen syvemältä verrattuna siihen, mitä Leskelän yleisesti käytössä olevissa mitoitusohjeessa on määritelty. Kumilevylaakerien ominaisuuksiin perehdytään tarkemmin esimerkiksi Seppo Jussilan diplomityössä Raudoittamattomien kumilevylaakereiden mitoitus talonrakentamisessa (6).

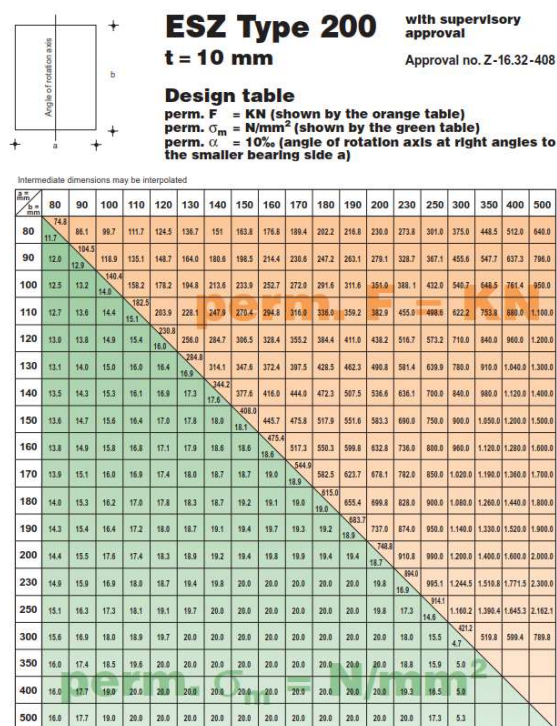
Vertailtavaksi tuotteeksi valittiin raudoittamaton elastomeerilaakeri tuotenimeltään ESZ 200 (kuva 21 vasemmalla) (16). Tätä tuotetta löytyy paksuuksilla 5 mm, 10 mm, 15 mm ja 20 mm. Leskelä toteaa mitoitusohjeessaan, että levyn paksuutta ei tule valita ohuemmaksi kuin 6 mm, vaikka kaavat osoittaisivat, että ohuemmalla levyllä saadaan suurempi kuormitettavuus. Tämän lisäksi suuremmat paksuudet alkavat rajoittaa kuormitettavuutta, kun  $t \geq 16$  mm. (5)



Kuva 21. ESZ 200 ja ESZ C20E – laakerit (16)

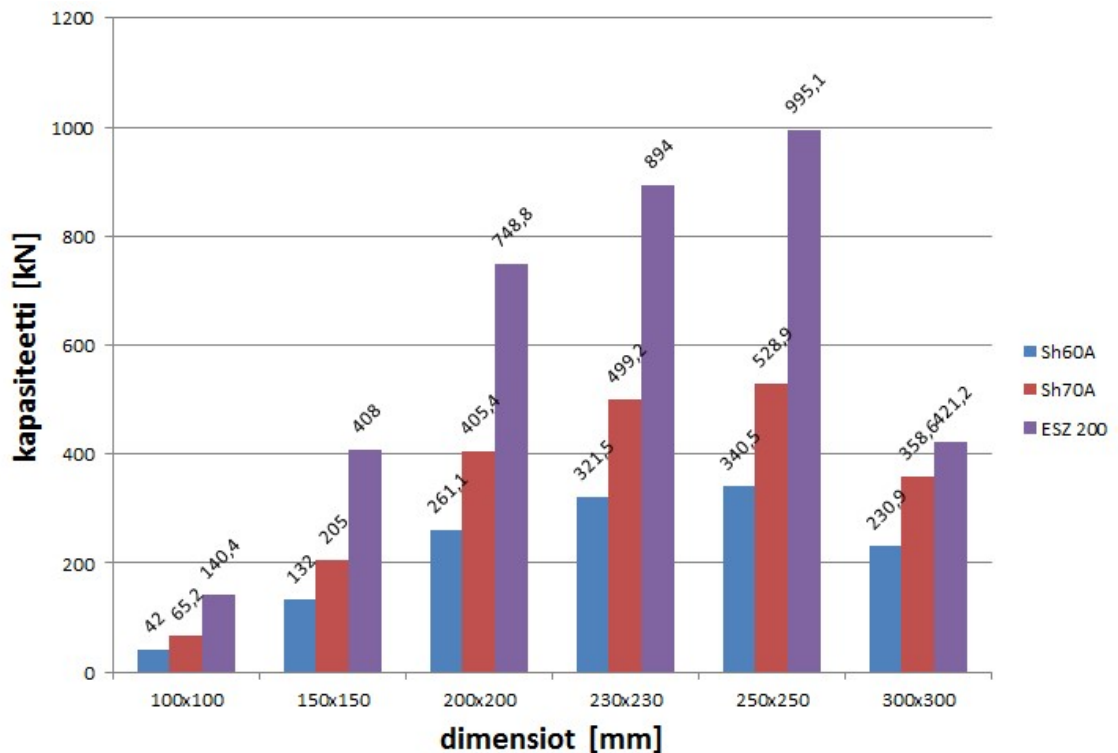
Näiden ehtojen vuoksi vertailtaviksi parametreiksi rajoittuvat ESZ-laakerit, jotka ovat paksuudeltaan 10 mm ja 15 mm. Näistä valittiin vertailtavaksi paksuudella 10 mm olevat laakerit. Muita vertailtavia parametreja ovat sallittu kumilevyn

kiertymä sekä ESZ-laakerien kuormitustaulukkojen rajoittamat dimensiot kumilevyn sivumitoille. Sallittuja kuormakapasiteetteja vertailtiin näitä parametreja varioiden. Kuvassa 22 on esitetty malli ESZ 200 -laakereiden valintataulukosta.



Kuva 22. ESZ 200 kapasiteetit, kun  $t = 10 \text{ mm}$  ja  $\alpha = 0,01$  (16)

ESZ 200 kumilevyjen tuotetiedoissa mainitaan, että liukumoduuliksi on oletettu  $G = 1,5 \text{ N/mm}^2$  (16). Tämä vastaisi Leskelän ehdottamalla metodilla kumilevyjä, joiden kovuus on hyvin lähellä arvoa 70 ShoreA. Kuviosta 1 nähdään kuitenkin, että saksalaisen kumilevyn kapasiteetit lupaavat huomattavasti suurempia arvoja kuin Leskelän ohjeen mukaan mitoitetuille kumilevyille, kun molempien kumilevyjen parametrit vakioidaan. ESZ 200 kumilevyt lupaavat lähes kolminkertaiset kapasiteetit verrattuna Leskelän ehdottamaan laskentaohjeeseen kovuudelle ShoreA 60. Kovuuteen ShoreA 70 verrattuna ESZ 200 -tyypin kumilevyn kapasiteetit ovat noin kaksinkertaiset.



Kuvio 1. Kumilevyjen kapasiteetit ShoreA 60, ShoreA 70 ja ESZ 200,  $t = 10$  mm ja  $\alpha = 0,01$

Kuvion 1 perusteella voidaan sanoa, että tulokset eivät ole kovin hyvin vertailtavissa keskenään, koska ESZ 200 -tyypin kumilevyn tuoteominaisuuksia ei tiedetty tarkalleen, eikä niitä tämän opinnäytetyön tarkoituksena ollut selvittää. Kuvio 1 havainnollistaa kuitenkin hyvin muotoluvun vaikutusta kapasiteetteihin: kun dimensiot alkavat kasvaa huomattavasti, kapasiteetit putoavat. Tässä vaiheessa kumilevyn paksuus 10 mm alkaa rajoittaa kapasiteettia, jolloin jouduttaisiin siirtymään paksumpiin levyihin suurempien kapasiteettien toivossa. Toinen vaihtoehto kapasiteettien kasvattamiselle olisi pienemmän kiertymän salliminen rakenteessa. Suositeltavaa ei kuitenkaan ole rajoittaa kiertymää nollaan.

Vertailtaessa muita ESZ-tuotetyyppejä, havaittiin saman suuruisia heittoja kapasiteeteissa, joten vertailua ei ollut mielekäästä jatkaa. Tarkemman analyysin saamiseksi pitäisi tutustua ESZ-laakerien kapasiteettien mitoitusperusteisiin saksalaisten standardista DIN 4141-3.

## 6.2 Konsolien mitoituksen tulokset

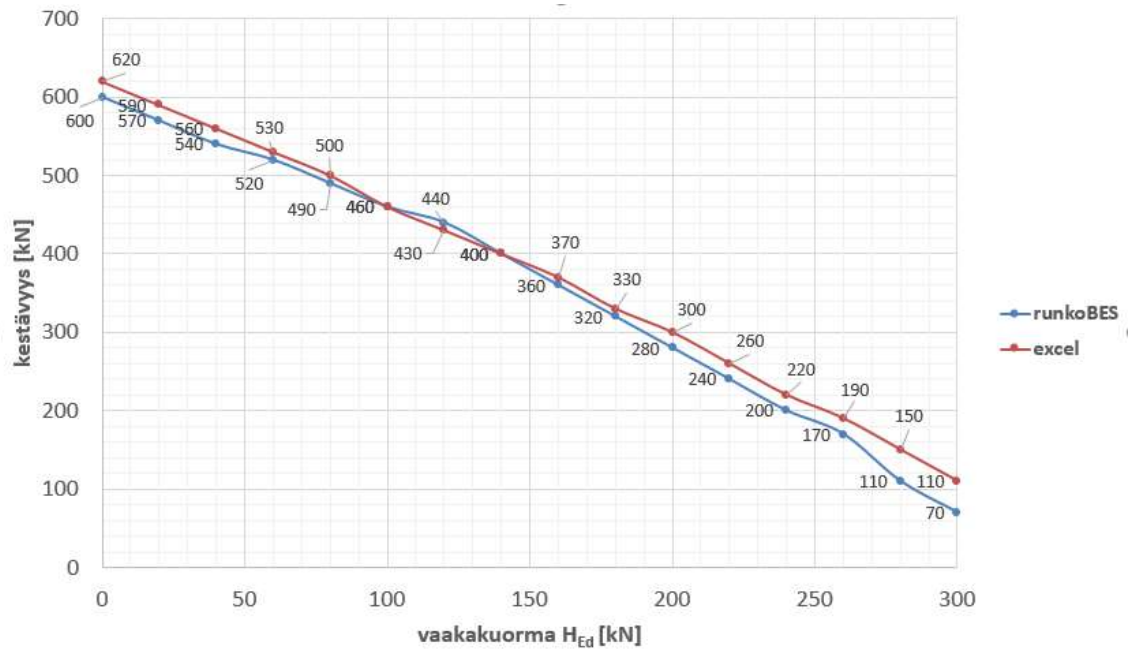
Excelillä tuotetun mitoituspohjan laskemia kapasiteetteja verrattiin Runko-BES-julkaisun kantokykykäyriin, jossa on määritelty vakiokokoisille konsoleille kapasiteetteja erilaiset parametrit huomioon ottaen. Näitä parametreja ovat betonin lujuus, konsolin eri dimensiot (leveys/pituus/korkeus), kuormitusetäisyys pilarista, mitoitusvaakavoima. Näiden lisäksi konsoleille on määritelty vakioraudoitukset, useimmiten neljää eri tyyppiä, joiden avulla saadaan säädettyä kapasiteetteja. Käyrät ovat esitetty siten, että pystyakselilla on määritelty mitoituspystykuorma, ja vaaka-akselilla mitoitusvaakakuorma. (17)

Runko-BESin kapasiteettikäyrät perustuvat vanhoihin Suomen rakentamismääräyskokoelman ohjeisiin, ja mitoitusmenetelmä pohjautuu Valtion teknillisessä tutkimuskeskuksessa (VTT) kehitettyyn betonin murtoehdon menetelmään (17). Siitäkin huolimatta, että nämä käyrästöt perustuvat vanhentuneisiin ohjeisiin, ne valittiin vertailukohteeksi, koska käyrästöjen käytöllä on pitkä historia, ja ne on aikoinaan todettu hyviksi ja toimiviksi.

Kuvioissa 2, 3 ja 4 vertaillaan tähän opinnäytetyöhön tuotetun laskentapohjan antamia kapasiteetteja kolmelle eri vakioidulle uloketyypille. Koska ristikkomenetelmään perustuvassa mitoituspohjassa solmun 2 korkeus  $a_0$  vaikuttaa mitoitukseen eurokoodiin perustuvassa mitoituksessa, on tämä parametri kunkin konsolin kohdalla pidetty vakiona. Solmun korkeutta ei lähdetty optimoimaan jokaisen laskelman kohdalla Excel-mitoituspohjan hyväksi. Kuviossa 2 on valittu vino konsoli (konsolityyppi 1), jonka parametrit ovat seuraavat:

- konsolin leveys: 380 mm
- konsolin suoran osan korkeus: 290 mm (kokonaiskorkeus 590 mm)
- konsolin pituus: 300 mm
- kuormitusetäisyys pilarin reunasta: 250 mm
- betonilaatu: C32/40 (vastaa vanhaa K40-1)
- pääraudoitus (vetoraudoitus): 8T12 (kaksi eri taivutusmuotoa)
- solmun 2 korkeus  $a_0$  (Excel): 100 mm.





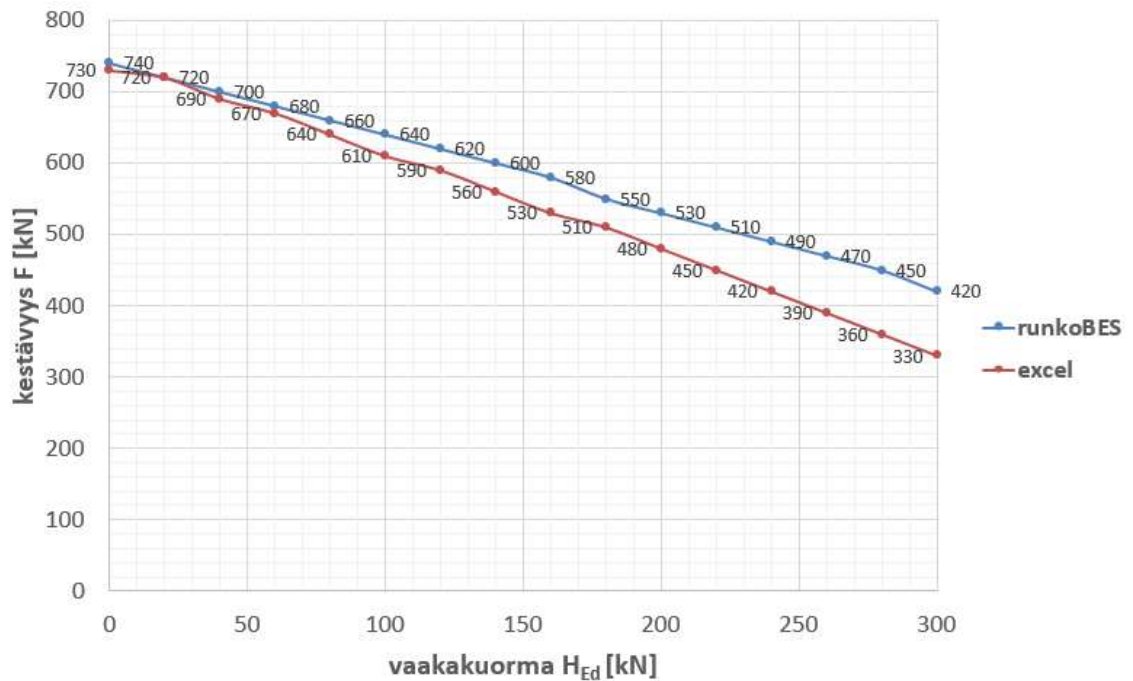
Kuvio 2. Runko-BES vertailukäyrät, konsolityyppi 1

Kuviosta 3 nähdään, että pienillä vaakakuormilla kapasiteeteissa on vain hyvin pieniä heittoja keskenään, vain noin 2-3% eroavaisuuksia. Suuremmilla vaakakuormilla eroavaisuudet alkavat kasvaa, ja esimerkiksi vaakakuorman ollessa 300 kN sallitun pystykuorman ero käyrien välillä on jo noin 30 % ristikkomenetelmään perustuvan mitoituspohjan eduksi.

Kuviossa 4 on valittu vertailtavaksi suora konsolityyppi (konsolityyppi 2), jonka parametrit ovat seuraavat:

- konsolin leveys: 480 mm
- konsolin suoran osan korkeus: 390 mm (sama kuin kokonaiskorkeus)
- konsolin pituus: 300 mm
- kuormitusetäisyys pilarin reunasta: 200 mm
- betonilaatu: C40/50 (vastaa vanhaa K50-1)
- pääraudoitus (vetoraudoitus): 14T12 (kaksi eri taivutusmuotoa)
- solmun 2 korkeus  $a_0$  (Excel): 70 mm.



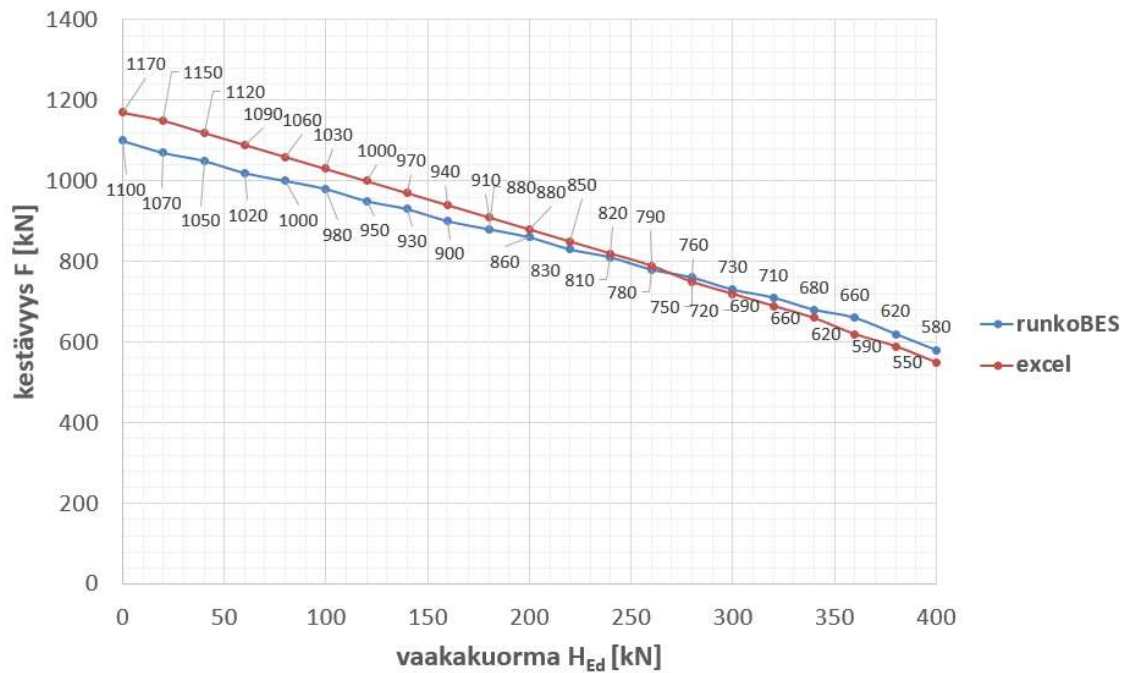


Kuvio 3. Runko-BES vertailukäyrät, konsolityyppi 2

Kuviosta 4 nähdään, että suoralla ulokkeella, kun vaakakuorma on suhteellisen pieni (alle 100 kN), pysyvät kapasiteetit kohtalaisen lähellä toisiaan. Eroa käyrien välillä on vain noin 4...8%. Kun vaakakuorma alkaa kasvaa, eurokoodiin perustuva ristikkomenetelmän mitoitus antaa huomattavasti pienempiä kapasiteetteja; esim. kun vaakakuorma on 260 kN, kapasiteettikäyrien välillä on n. 24 %:n ero.

Kuviossa 5 on valittu puolestaan vertailtavaksi vino konsolityyppi seuraavilla parametreilla:

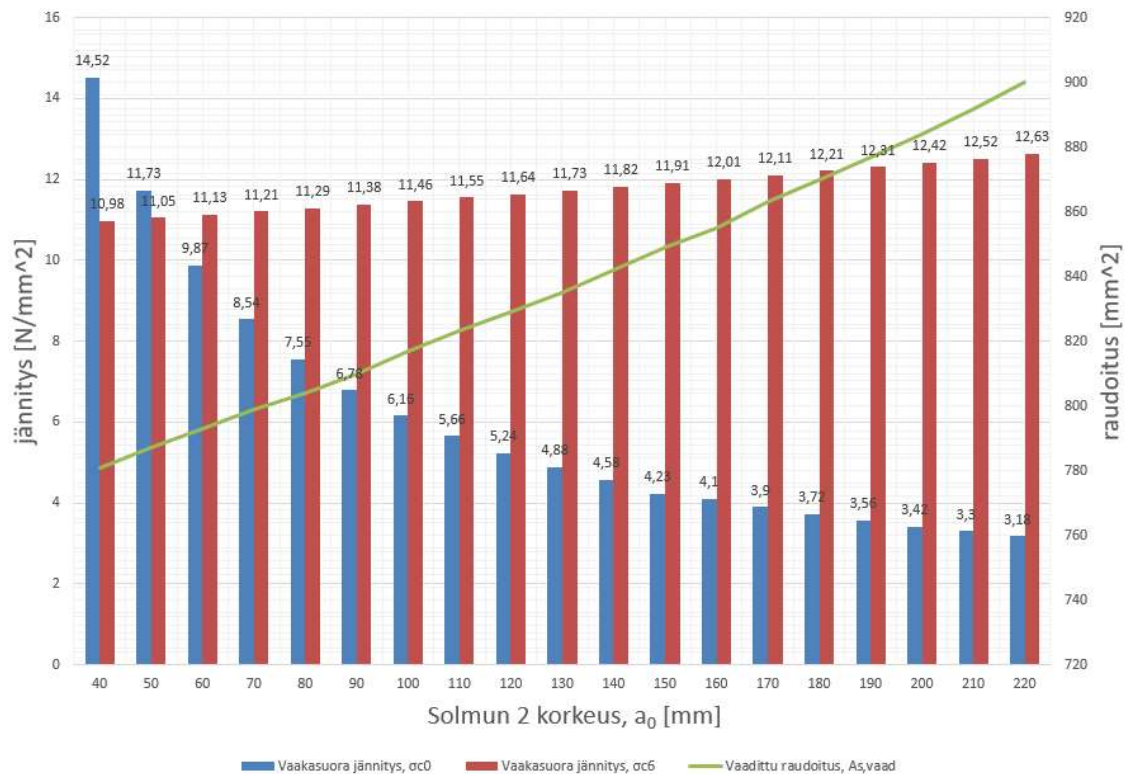
- konsolin leveys: 580 mm
- konsolin suoran osan korkeus: 290 mm (kokonaiskorkeus 590 mm)
- konsolin pituus: 300 mm
- kuormitusetäisyys pilarin reunasta: 250 mm
- betonilaatu: C32/40 (vastaa vanhaa K40-1)
- pääraudoitus (vetoraudoitus): 18T12 (kaksi eri taivutusmuotoa)
- solmun 2 korkeus  $a_0$  (Excel): 100 mm.



Kuvio 4. Runko-BES vertailukäyrät, konsolityyppi 3

Pienillä vaakakuormilla konsolityypin 3 kuormituskäyrien erot noin luokkaa 5 – 6 %. Vaakakuormien kasvaessa erot pienentyvät kapasiteeteilla lähes olemattomiin, kunnes ylitetään vaakakuorman mitoitussarvo 300 kN, jolloin eroavaisuudet alkavat taas kasvaa hieman (n. 5,5...6,6%).

Konsolityypille 1 testattiin solmun 2 korkeuden  $a_0$  varioimista ja sen vaikutusta vaadittavaan raudoitukseen ja jännityksiin, kun pystykuorma  $F_{Ed} = 450$  kN ja vaakakuorma  $H_{Ed} = 0,2 \cdot F_{Ed} = 90$  kN (kuva 6). Solmun korkeus tulee iteroida siten, että kaikki jännitysehdot konsolissa pysyvät sallituissa rajoissa. Kuviossa 6 nähdään sinisellä solmussa 2 vaikuttava vaakasuora jännitys  $\sigma_{c0}$ , punaisella solmussa 1 vaikuttava vaakasuora jännitys  $\sigma_{c6}$  ja vihreällä käyrällä konsolin vaadittu raudoitus  $A_{s,vaad.}$ . Mitoitustilanteessa huomioidaan, että ko. parametreilla jännityksen  $\sigma_{c0}$  suurin sallittu arvo oli 15,81 N/mm<sup>2</sup> ja jännityksen  $\sigma_{c6}$  suurin sallittu arvo oli 13,44 N/mm<sup>2</sup>.



Kuvio 5. Solmun  $a_0$  korkeuden vaikutus raudoitukseen ja jännityksiin

Kuviosta 6 nähdään, kuinka solmun korkeuden kasvattaminen vähentää huomattavasti jännityksiä solmun 2 alueella konsolin tyvessä. Solmua kasvattamalla saadaan tehokkaasti laskettua jännityksiä solmussa 2 kyllä, mutta solmun 1 alueella jännitykset alkavat puolestaan kasvamaan melko nopeasti. Kun otetaan vielä huomioon, että ko. kuvion tapauksessa maksimijännitys arvolle  $\sigma_{c6}$  on edellä mainittu  $13,44 \text{ N/mm}^2$ , niin huomataan, että jännitykset lähestyvät nopeasti maksimirajaa. Vaaditun vetoraudoituksen pinta-ala kasvaa myös selkeästi solmun korkeutta kasvatettaessa. Näin ollen suunnittelijan tulee löytää iteroimalla parhaiten yksilölliseen tilanteeseen sopiva ratkaisu. Solmun korkeuden iterointi korostuu, mitä suurimmille kuormille konsoleita suunnitellaan.

Konsolin mitoitus pohja näyttäisi laskevan uskottavia kapasiteetteja verrattaessa Runko-BES-arvoihin. Standardien päivittymisestä huolimatta betoni on edelleen betonia ja teräs on terästä, joten laskennan toimivuutta ei kannata ilman syvemmälle menevää analyysia kyseenalaistaa. Jatkossa laskentapohjille voidaan teettää vielä varmennustestausta ennen laajempaa käyttöönottoa.

## 7 Pohdinta ja yhteenveto

Opinnäytetyön kahtena päätavoitteena oli tuottaa laskentapohja teräsbetonisten pilariulokkeiden mitoitus varten sekä mallinnusohje konsolin tekoon Tekla Structures -ohjelmistolla käyttäen avuksi valmiita komponentteja. Tämän lisäksi tuotettiin toinen laskentapohja vahvistamattoman kumilevylaakerin mitoittamista varten. Laskentapohjat toteutettiin Microsoft Excel -ohjelmistolla, ja laskentapohjista jätettiin tarkoituksella ohjelmoitavat makrot pois, jotta taattaisiin ohjelmien toimivuus mahdollisimman laajalti Pöyryn kalustolla.

Laskentapohjat ja mallinnusohje ovat vapaasti ladattavissa Pöyryn sisäisessä verkossa kaikkien käyttäjien saatavilla. Tämän lisäksi valmiille Teklan komponenteille luotiin osittain perusasetuksia, jotka tallennettiin ja ladattiin Pöyryn ympäristöön suunnittelijoiden käytettäväksi.

Opinnäytetyön alkuvaiheilla työ pyrittiin rajaamaan hyvin tiukasti, jotta aikataulutavoitteissa pysyttäisiin, mutta aikataulutavoitteet eivät täyttyneet tästä huolimatta. Kiireellisten projektitöiden takia opinnäytetyölle ei löytynyt tarpeeksi tiuhaan sopivia ajanjaksoja työn toteuttamiseen, ja tämä johti välillä pitkiinkin taukoihin opinnäytetyön osalta.

Työn rajauksen puitteissa kaikkia osa-alueita ei pystytty tutkimaan niin tarkasti kuin olisi haluttu. Työstä muodostui enemmän laskentapohjainen kuin Tekla Structures -painotteinen. Laskentaosuuden tekeminen söikin selvästi leijonan osan käytetystä ajasta. Tämän takia esimerkiksi alkuperäisen tavoitteen mukaista Teklan piirustustuotantoa ei ehditty kehittämään ollenkaan konsolien ja pilarien osalta. Neopreenilaakereiden osalta laskennassa ei päästy tekemään mitenkään syväluotaavaa analyysiä, mutta toisaalta aiheesta on kirjoitettu toisaalla erinomaisia opinnäytetöitä.

Konsolin mitoituksesta valikoitui verrattavaksi ja validoimista varten Runko-BES-julkaisun kapasiteettikäyrät. Näiden iäkkydestä huolimatta samat rakennusmateriaalit ovat yhä käytössä, ja betoni on yhä betonia niin kuin teräs on yhä terästä vuosikymmeniä myöhemminkin. Vaikka standardit päivittyvät, niin taustalla toimivat statiikan ja lujuusopin peruskaavat ovat hyvin pitkälti samoja.

Konsolien laskennasta ei lähdetty satunnaisesti testaamaan eri variaatioita kapasiteeteille ja vaadittaville raudoituksille parametreja muuttelemalla. Vertailukäyrät antavat uskottavia arvoja ristikkoteorian mukaiselle mitoitukselle, ja kukin suunnittelija voi itse testata parametrien muuttamisen vaikutusta esimerkiksi eri jännitysarvoihin automatisoidulla laskentapohjalla. On myös olemassa jo opinnäytetöitä, joissa tehdään vastaavaa vertailua parametreja säätelemällä.

Konsolin laskennassa testattiin kuitenkin solmun 2 korkeuden vaikutusta konsolin mitoitukseen, sillä se on arvo, jonka jokainen suunnittelija joutuu itse iteroimaan ja optimoimaan laskennassa, eikä absoluuttista oikeaa vastausta ole.

Jos laskentapohjia halutaan jatkossa käyttää laajemmalti, niin jonkinlainen Pöyryn sisäinen varmennustestaus on erittäin suositeltavaa. Työssä suoritettiin myös tietynasteista vertailua SKOL ry:n tuottamaan laskentapohjaan, mutta tämä osoittautui hyödyttömäksi, sillä jostain syystä SKOLin laskentapohja antaa aina parametreista huolimatta betonikonsolin käyttöasteeksi 100 %. SKOLin laskentapohjat ovat lisensoituja ja suojattuna, joten ongelmaa ei päässyt tutkimaan tarkemmin.

Tulevaisuudessa myös voisi selvittää kuinka, laskennan integrointi Tekla Structures -ohjelmaan onnistuisi, sillä vastaavia esimerkkejä on jo toteutettu useita. Jos valmiisiin standardikomponentteihin ei saada luotua yhteyttä laskennalle niin mahdollisesti jonkin tyylinen custom-komponentti (käyttäjämääritteinen) saattaisi toimia.

## Kuvat

- Kuva 1. Tyypillisimmät betoniulokkeet suositusmittoineen, s. 8  
Kuva 2. Vinon konsolin sekä suoran piilokonsolin nivelliitos, s. 9  
Kuva 3. Momenttijäykä liitos konsolin päällä, s.9  
Kuva 4. Kumilevyn mitoittamiseen määriteltävät dimensiot, s. 12  
Kuva 5. Palkin kiertymän ja taipuman suhde, s. 14  
Kuva 6. Konsolin ristikkomalli määriteltynä eurokoodissa, katkoviivalla puristussauvat (strut) ja jatkuvalla viivalla vetosauvat (tie), s. 16  
Kuva 7. Ristikkomallin muodostaminen yksinkertaiselle seinämäiselle palkille, s. 17  
Kuva 8. Betonin puristuskaistojen mitoitusilanteet, s. 18  
Kuva 9. Puristavasta pääjännityksestä syntyvä poikittainen veto ja vetorauditus, s. 20  
Kuva 10. Parametrit poikittaisten vetovoimien määrittämiseksi puristuskentässä, s. 21  
Kuva 11. Kolmio- ja puolisuunnikassolmut, joissa tasapainotetaan kolme puristavaa voimaa, s. 22  
Kuva 12. Puristus-vetosolmuja, s. 23  
Kuva 13. Puristettu ja vedetty solmu, jossa kahden suunnan vetorauditus, s. 24  
Kuva 14. Ulokkeen ristikkomalli, s. 25  
Kuva 15. Konsolin yksityiskohtien suunnittelu, s. 29  
Kuva 16. Vetoraudituksen  $A_{sl}$  määrittelykohta, s. 30  
Kuva 17. Ulokkeen vino alareuna, s. 31  
Kuva 18. Liitoskomponentti ja asetukset, s. 33  
Kuva 19. Konsoleiden mallintamiseen ja raudoittamiseen soveltuvat komponentit, s. 34  
Kuva 20. UDA-tietojen lisäys vaarnatapille, s.35  
Kuva 21. ESZ 200 ja ESZ C20E – laakerit, s. 36  
Kuva 22. ESZ 200 kapasiteetit, kun  $t = 10 \text{ mm}$  ja  $\alpha = 0,01$ , s. 37

## Kuviot

- Kuvio 1. Kumilevyjen kapasiteetit ShoreA 60, ShoreA 70 ja ESZ 200,  $t = 10 \text{ mm}$  ja  $\alpha = 0,01$ , s. 38  
Kuvio 2. Runko-BES vertailukäyrät, konsolityyppi 1, s. 40  
Kuvio 3. Runko-BES vertailukäyrät, konsolityyppi 2, s. 41  
Kuvio 4. Runko-BES vertailukäyrät, konsolityyppi 3, s. 42  
Kuvio 5. Solmun  $a_0$  korkeuden vaikutus raudoitukseen ja jännityksiin, s. 43

## Taulukot

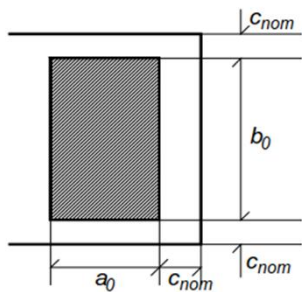
- Taulukko 1. Keskimääräiset kumin materiaaliominaisuudet, s. 11  
Taulukko 2. Kumilevyn muotokertoimet  $C_p$  ja  $C_\alpha$ , s. 13  
Taulukko 3. Vetosauvan korkeuden  $u$  määrittäminen, s. 23

## Lähteet

1. Pöyry 2017. Fact sheet. <http://www.poyry.com/about-us/poyry-brief>. Luettu: 7.8.2017.
2. Elementtisuunnittelu.fi. Ulokkeet. <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/runkorakenteet/pilarit/ulokkeet>. Luettu: 7.8.2017.
3. Elementtisuunnittelu.fi. Liitokset. <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/liitokset>. Luettu: 7.8.2017.
4. Anstar Oy. Pultit ja kengät. APK pilarikenkä. Käyttöohje. [http://www.anstar.fi/wp-content/uploads/2013/02/APK\\_kayttoohje\\_2013.pdf](http://www.anstar.fi/wp-content/uploads/2013/02/APK_kayttoohje_2013.pdf). Luettu: 8.8.2017.
5. Leskelä, M.V. 2009. Kumilevylaakerien mitoittaminen. Oulu. Oulun yliopisto. Raportti RTL 0105.
6. Jussila, S. 2014. Raudoittamattomien kumilevylaakereiden mitoitus talonrakentamisessa. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö.
7. SFS-EN 1337-3. Vahvistettu 2005. Rakennelaakerit. Osa 3: Kumilevylaakerit.
8. Leskelä, M.V. 2008. Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus by 210. Helsinki. Suomen Betoniyhdistys r.y.
9. SFS-EN 1992-1-1+A1+AC. Vahvistettu 2015. Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt.
10. Suunnittelun sovellusohjeet ja Betoninormien RakMK B4 suunnitteluosa, RakMK B1 ja B2. by 16. 1984. Suomen Betoniyhdistys r.y.
11. Trimble Solutions Corporation. 2017. Tietoa meistä. <https://www.tekla.com/fi/tietoa-meista/lyhyesti>. Luettu: 2.9.2017.
12. Trimble Solutions Corporation. 2017. Ratkaisut: rakennesuunnittelijat. <https://www.tekla.com/fi/ratkaisut/rakennesuunnittelijat>. Luettu: 2.9.2017.
13. Trimble Solutions Corporation. Tekla Structures. 2016. Concrete detailing: beam and column connections. [https://teklastructures.support.tekla.com/2016/en/com\\_concrete\\_beam\\_and\\_column\\_connections](https://teklastructures.support.tekla.com/2016/en/com_concrete_beam_and_column_connections). Luettu: 5.9.2017.
14. Trimble Solutions Corporation. Tekla Structures. 2017. User-defined attributes. [https://teklastructures.support.tekla.com/2016/en/com\\_concrete\\_beam\\_and\\_column\\_connections](https://teklastructures.support.tekla.com/2016/en/com_concrete_beam_and_column_connections). Luettu: 5.9.2017.

15. Pöyry Tekla Structures Nimeämisohje. 2015.
16. ESZ Wilfried Becker GmbH. Overview: Fixed bearings. <http://www.esz-becker.de/overview-fixed-bearing.html>. Luettu: 9.9.2017.
17. Suomen Betoniteollisuuden keskusjärjestö. Runko-BES. Julkaisu 8 Teräsbetonipilarit. 1983. Helsinki.



Rakennuskohde:		Työ nro:		Sisältö:	
Opinnäytetyö		XXXXXX			
Tekijä:	Miko Tollander	KUMILEVYLAAKERIN MITOITUS			Versio
Päiväys:					1.0
GEOMETRIA					
Kumilevyn kovuus, h	70 ShoreA				
Pienempi sivumitta, a <sub>0</sub>	150 mm				
Suurempi sivumitta, b <sub>0</sub>	350 mm				
Levyn paksuus, t	10 mm				
KUORMITUKSET (ilman kuormituskertoimia)					
Pystykuorma (kaikki), P <sub>EK</sub>	290 kN				
Pystykuorma (omat painot), P <sub>gk</sub>	100 kN	Liukumattomuus- ehdon tark. varten			
Vaakakuorma, H <sub>EK</sub>	30 kN				
PARAMETRIT					
pinta-ala, A	52500 mm <sup>2</sup>	suorakaide:			
Kumilevyn muotoluku, S	5,25	$S = \frac{a_0 \times b_0}{2 \times t(a_0 + b_0)}$			
Liukukerroin, G(h)	1,525 N/mm <sup>2</sup>	OK			
Hoikkuusluku, a <sub>0</sub> /t	15,000	OK			
Suhdeluku, b <sub>0</sub> /a <sub>0</sub>	2,33	Epäkeskisyys huomioitu?			
Kerroin, C <sub>p</sub>	3,900	ei			
Kerroin, C <sub>α</sub>	0,489	Jos käytetty kiertymä < 0,01, käytetään P <sub>k1,alt</sub>			
Oletettu kiertymä α <sub>oletus</sub>	0,010 rad	kts. Laskenta-välilehti			
Halutessasi voit myös arvioida kiertymää syöttämällä seuraavat parametrit:					
Palkin jänneväli, L	8000 mm	Likimääräinen laskettu kiertymä:			
Max kenttämomentti, M <sub>Ed,max</sub>	300,00 kNm	α <sub>laskettu</sub>	0,0337 rad	Valitse kiertymä:	
Palkin kimmomoduuli, E	30000 N/mm <sup>2</sup>			oletettu	
Jäyhyysmomentti, I	950000000 mm <sup>4</sup>				
Maksimikokoonpuristuma, Δ <sub>c,lim</sub>	3 mm				
Kitkan huomioiva kerroin, k <sub>slip</sub>	1,9				
G <sub>r</sub>	1,576 N/mm <sup>2</sup>				
TULOKSET JA TARKISTUS					
Leikkausjännityksien rajoitus		τ <sub>c</sub> + τ <sub>r</sub> ≤ 2,5G		Liukumattomuusehdot, väh. toisen toteuduttava	
τ <sub>c</sub> + τ <sub>r</sub>	0,841 N/mm <sup>2</sup>	OK		$P_{gk} \geq 7 \times H_k - 4 \times G \times A$	
Todellinen kokoonpuristuma		OK		$H_k \leq \frac{P_{gk} + 4 \times G \times A}{7}$	
Δ <sub>c</sub> ≤ Δ <sub>c,lim</sub>	0,002 mm			OK	
P <sub>k1</sub> / P <sub>k1,alt</sub>	669,8 kN	P <sub>k1</sub> huomioi painumaehdon			
P <sub>k2</sub>	600,3 kN	P <sub>k2</sub> huomioi leikkausjännitykset			
P <sub>k3</sub>	1372,1 kN	P <sub>k3</sub> huomioi maksimipainuman			
Kuormitettavuus P <sub>k</sub>	600,3 kN	Käyttöaste	48,3 %	OK	

Rakennuskohde:	Työ nro:	Sisältö:
Opinnäytetyö	XXXXX	Laskentapohja teräsbetonikonsoleille
Tekijä: MTOL	KONSOLIN MITOITUS	
Päiväys:		
		Versio 1.0

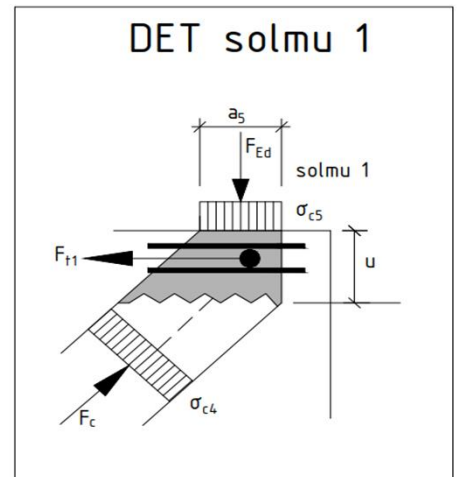
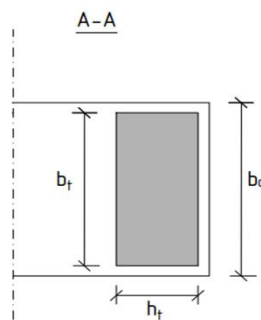
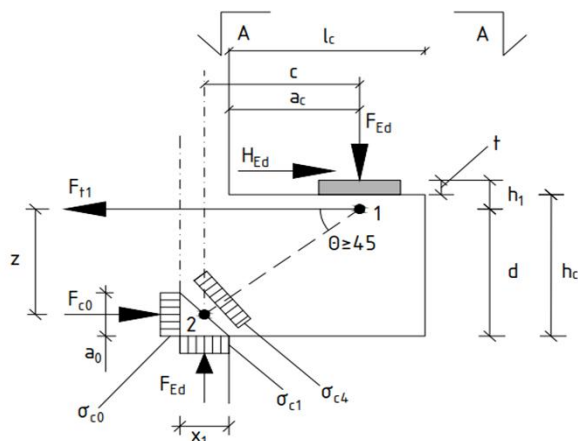
MATERIAALITIEDOT, PILARI				MIT. VAIHTOEHTO	Suora arvo, F <sub>Ed</sub>
Betonilaatu	C40/50	C <sub>nom</sub>	30 mm	Suora mitoitus	500,00 kN
Pääteräkset	B500B	max.	16 mm		
Hakateräkset	B500B	raekoko			

KUORMITUKSET				
Seuraamusluokka		CC2	$K_{FI}$ 1,0	Keskisuuret seuraamukset
Pysyvät kuormat			Kuormatyyppi (nimi)	Vaakavoima
$g_{k,palkki}$	0,0 kN/m		palkin omapaino	$H_{Ed}$
$g_{k1}$	kN/m <sup>2</sup>			100,0 kN
$g_{k2}$	kN/m <sup>2</sup>			
$g_{k3}$	kN/m <sup>2</sup>			
$g_{k4}$	kN/m <sup>2</sup>			
Muuttuvat kuormat			Kuormatyyppi	$\psi_0$
$q_{k1}$	kN/m <sup>2</sup>		Ei kuormaa	-
$q_{k2}$	kN/m <sup>2</sup>		Ei kuormaa	-
$q_{k3}$	kN/m <sup>2</sup>		Ei kuormaa	-
$q_{k4}$	kN/m <sup>2</sup>		Ei kuormaa	-

GEOMETRIA, pilarijako		Pilareiden dimensiot		Palkki		Liitos pystysauma [mm]
$a_1$		pilari 1, $b_{p1}$		$b_{palkki}$		
$a_2$		pilari 1, $h_{p1}$		$h_{palkki}$		
$b_1$		pilari 2, $b_{p2}$		$l_{palkki}$	0 mm	
$b_2$		pilari 2, $h_{p2}$				
$b_3$						

GEOMETRIA, konsoli		Tukipinnan muoto			
korkeus, $h_c$	590 mm	lyhyempi sivu, $h_t$	230 mm	$a_c$	200 mm
leveys, $b_c$	380 mm	pidempi sivu, $b_t$	320 mm	$a_0$	80 mm
ulokkeen pituus, $l_c$	300 mm	tukipinnan paksuus, $t$	8 mm		

### ulokkeen ristikkomalli



**RAUDOITUS**
**Konsoli, pääteräket:**

Huom! Suunnittelijan on itse varmistettava pääterästen mahtuvuus poikkileikkaukseen.

a	30 mm				
1. rivi		6 kpl	Leikkeiden lkm	12 mm	raud. Ø
c-c	12 mm				
2. rivi		2 kpl	Leikkeiden lkm	12 mm	raud. Ø
c-c	50 mm				
3. rivi		0 kpl	Leikkeiden lkm	12 mm	raud. Ø
c-c	50 mm				
4. rivi		0 kpl	Leikkeiden lkm	12 mm	raud. Ø
c-c	50 mm				
5. rivi		0 kpl	Leikkeiden lkm	12 mm	raud. Ø
c-c	50 mm				
6. rivi		0 kpl	Leikkeiden lkm	12 mm	raud. Ø

Vaadittu vetorautoitus, $A_{s,vaad.}$	793,59 mm <sup>2</sup>
Valittu vetorautoitus, $A_{s,valittu}$	904,78 mm <sup>2</sup>

**Konsoli, poikittaisen vedon halkaisuteräket:**

Rautoitus mitoitetaan hakoina tai vaakasuuntaisena pintarautoituksena ja se tulee jakaa tasaisesti konsolin uuman korkeudelle.

Halkaisuvoima, $F_t$	51,38 kN
Halkaisuvoimalle vaadittava rautoitus	118,17 mm <sup>2</sup>
Valittu rautoitus, $A_{s,halkaisu}$	201,06 mm <sup>2</sup>
määrä	raud. Ø
4 kpl	8 mm

**Konsoli, umpihaat (SFS-EN 1992-1-1 liite J.3:**

SFS-EN 1992-1-1 liite J.3:

Tarkistetaan hakarautoituksen 2 ehtoa: (kts. myös Laskentavälilehti)

Vaakasuuntaiset/kaltevat haat, kun  $a_c < 0,5h_c$

Ehto toteutuu?: **Kyllä toteutuu.**

Vaadittu rautoitus  $A_{s,haat}$  226,19 mm<sup>2</sup>

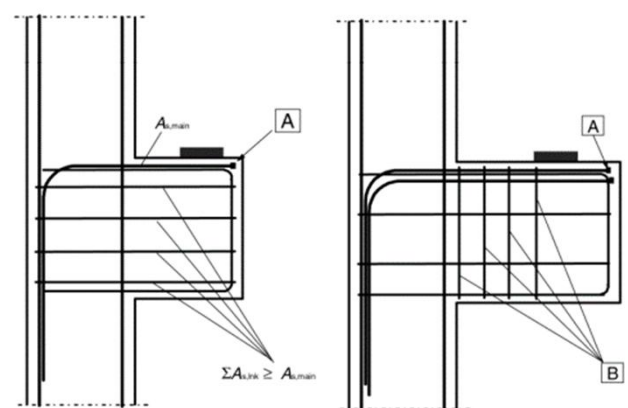
Pystyhaat, kun  $a_c > 0,5h_c$  JA  $F_{Ed} > V_{Rd,c}$

Ehto toteutuu?: **Ei toteudu.**

Vaadittu rautoitus  $A_{s,haat}$

määrä	raud. Ø
4 kpl	8 mm

Valittu rautoitus,  $A_{s,haat}$  402,12 mm<sup>2</sup>



$A_{s,ink} \geq k_1 A_{s,main}$

**A** - Ankurointilaitteet tai lenkkihaat **B** - Umpihaat

(a) rautoitus, kun  $a_c \leq 0,5 h_c$

(b) rautoitus, kun  $a_c > 0,5 h_c$

**TULOKSET JA TARKISTUKSET**
**Päävetoraudoituksen ankkuroinnin tarkistus:**

Tartuntaolosuhteet:	hyvät	kts. SFS-EN 1992-1-1 luku 8.4.2	
Vetoraudoituksen pienin valittu tankoväli	80 mm	pienin sallittu tankoväli (reunasta reunaan):	21 mm

Harjateräksen tartuntalujuus, $f_{bd}$ :	3,68 N/mm <sup>2</sup>
Suoran tangon ankkurointipituuden perusarvo, $l_{bd}$ :	240,7 mm
Ankkurointipituuden mitoitusarvo (tukirakenteelle), $l_{b,rqd}$ :	310,5 mm
Ankkurointipituuden mitoitusarvo (konsoliin), $l_{b,rqd}$ :	168,5 mm
Teräsjännitys mitoituskohdassa, $\sigma_s$ :	381,35 N/mm <sup>2</sup>

Tarkistetaan ankkurointipituus täydelle jännitykselle ankkuroitaessa:

$\sigma_s$	434,78 N/mm <sup>2</sup>
$l_{b,rqd}$	274,4 mm

Ankkurointipituuden minimiarvo:	120,0 mm
---------------------------------	----------

Päävetoraudoitus ankkuroidaan molemmista päistä. Ankkurointipituus mitataan tukena olevan rakenneosan etupuolella olevan pystyraudoituksen kohdasta alkaen. Konsolin ankkurointi mitataan tukilevyn sisäreunasta.

**Jännitysten ja ristikon kulman tarkistus**

Puristusdiagonaalin suuntakulma, $\theta$	64,75 °
Ehto: $1,0 \leq \tan \theta \leq 2,5$	OK

Solmun 2 mitoituslujuus, $f_{cd1}$	19,04 N/mm <sup>2</sup>	käyttöaste
Solmun 2 vaakasuora jännitys, $\sigma_{c0}$	9,57 N/mm <sup>2</sup>	50,3 %
Solmun 1 mitoituslujuus, $f_{cd3}$	16,18 N/mm <sup>2</sup>	käyttöaste
Solmun 1 kok. puristusjännitys, $\sigma_{c5}$	7,07 N/mm <sup>2</sup>	43,7 %
Solmun 1 mitoituslujuus, $f_{cd3}$	16,18 N/mm <sup>2</sup>	käyttöaste
Solmun 1 nim. vaakajännitys, $\sigma_{c6}$	14,98 N/mm <sup>2</sup>	92,5 %
Vetoraudoituksen mitoituslujuus, $f_{sd}$	434,78 N/mm <sup>2</sup>	käyttöaste
Ristikon vetosauvan jännitys	381,35 N/mm <sup>2</sup>	87,7 %

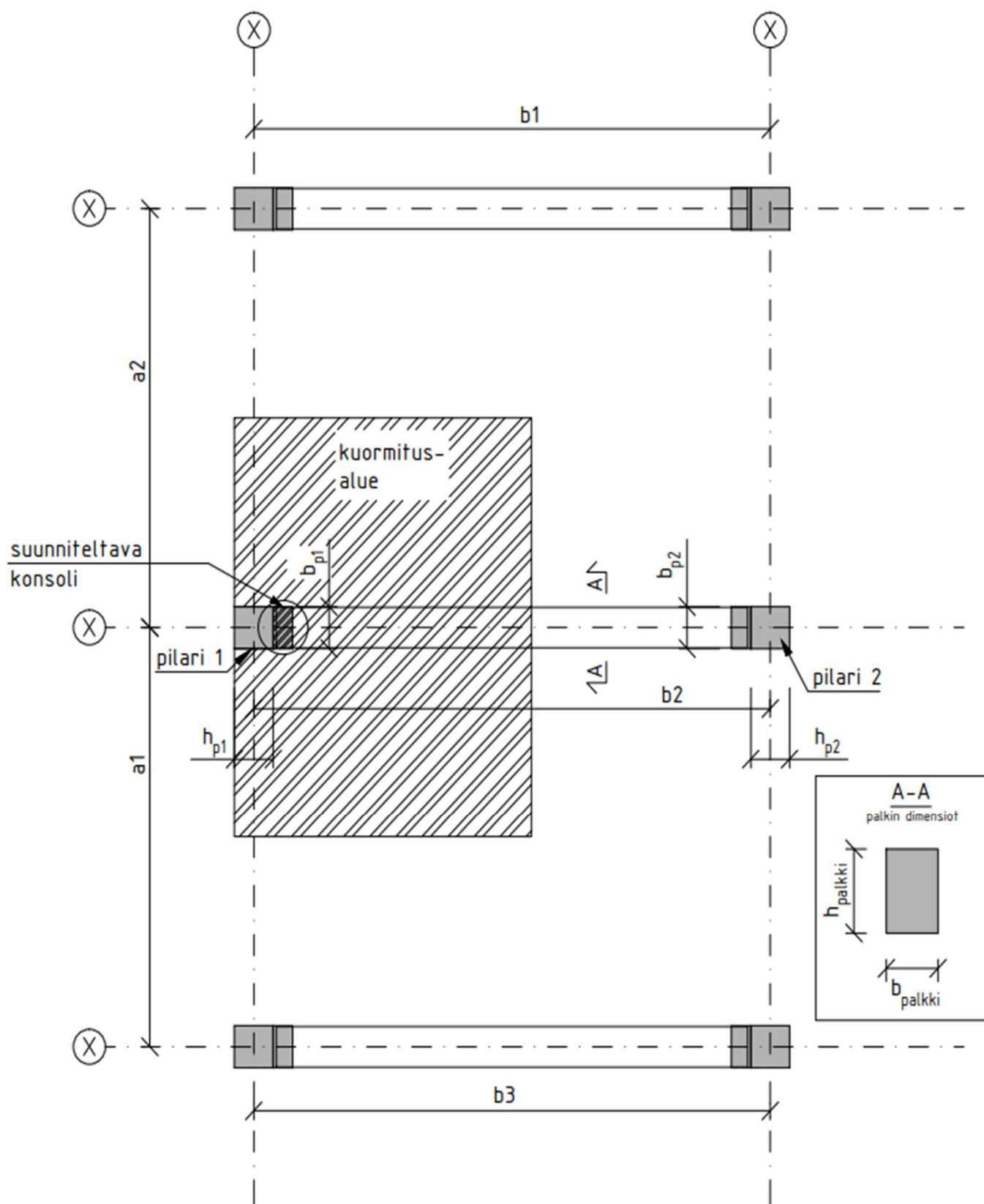
Konsolin puristussauvan jännitys  $\sigma_{c,4}$  on automaattisesti hyväksyttävä, kun jännitykset  $\sigma_{c,5}$  ja  $\sigma_{c,6}$  toteuttavat mitoitus ehdot.

**Valittujen raudoitusten käyttöasteet:  $A_{vaadittu}/A_{valittu}$** 

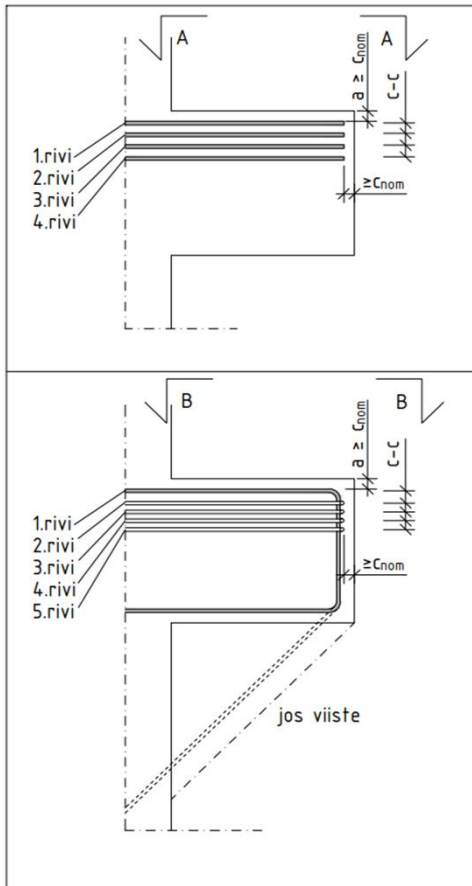
Päävetoraudoitus, $A_{s,valittu}$	käyttöaste
	87,7 %
Halkaisuraudoitus, $A_{s,halkaisu}$	käyttöaste
	58,8 %
Hakaraudoitus, $A_{s,haat}$	käyttöaste
	56,3 %

**KONSOLIN MITOITUS OK.**

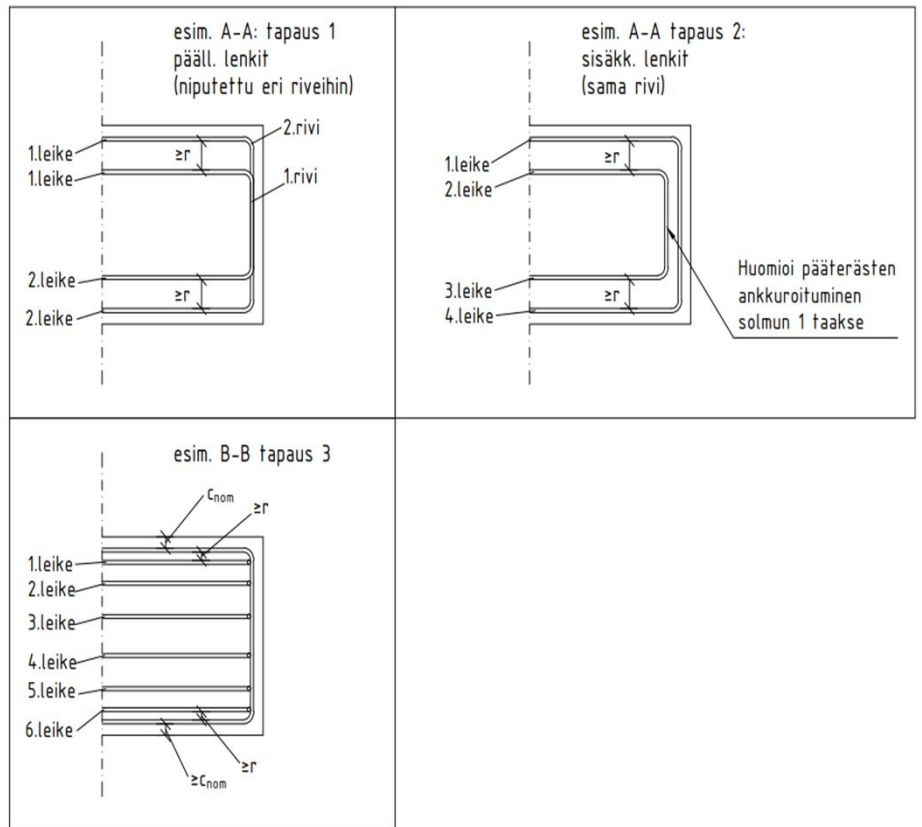
# SUUNNITTELUALUE



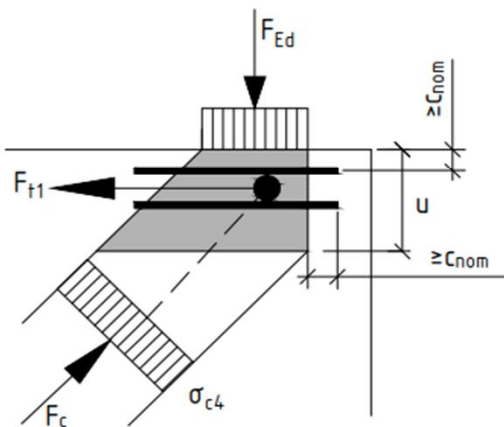
## pääraudoitus



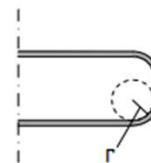
## raudoitusesimerkkejä



## solmu 1 ankkurointi



## pääraudoituksen taivutustelan säde



## Tekla Structures - betonikonsolin mallinnusohje

Tämä ohje on tarkoitettu Pöyry Finland Oy:n käyttöön. Ohje koskee Tekla Structures 21.0 ohjelmistolla mallinnettavia betonikonsoleita, komponentteja sekä niiden raudoittamista.

Komponentit:

concrete console (110)

concrete console (111)

corbel connection (14)

corbel reinforcement (81)

## Sisältö

1	KOMPONENTIT .....	3
1.1	Concrete console (110) .....	3
1.2	Concrete console (111) .....	17
1.3	Corbel connection (14) .....	21
1.4	Corbel reinforcement (81) .....	27
1.5	Huomioita raudoittamisesta sekä muuta yleistä .....	30
	Lähteitä .....	34